

(11)Publication number : 2003-069502
(43)Date of publication of application : 07.03.2003

H04B 10/04
G02F 1/01
G02F 1/015
G02F 1/31
G02F 2/02
H01S 3/10
H04B 10/06
H04B 10/14
H04B 10/142
H04B 10/152
H04B 10/26
H04B 10/28

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(72)Inventor : KANI JUNICHI
ARAYA KATSUHIRO
TAKACHIO NOBORU
AKIMOTO KOJI
TEJIMA MITSUHIRO
FUJIWARA MASAMITSU
SUZUKI HIROO
KAWAI SHINGO
IWATSUKI KATSUMI

Priority number : 2001179168 Priority date : 13.06.2001 Priority country : JP

PROBLEM TO BE SOLVED: To demultiplex multiple wavelength light having bandwidths more than the free spectral range (FSR) of an arrayed-waveguide grating (AWG) into individual wavelength channels, and suppress power level deviation between each wavelength channels.

图1

wavelength-multiplexed signal light in each wavelength group output from each channel multiplexer. The FSR of the group multiplexer/demultiplexer is set more than the bandwidth of the multiple wavelength light. As a channel multiplexer/ demultiplexer, there is employed an AWG of which FSR is approximately full width at half maximum (FWHM) of transmission characteristic of each port in the group multiplexer/demultiplexer.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.01.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3732804

[Date of registration] 21.10.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-69502

(P2003-69502A)

(43) 公開日 平成15年3月7日 (2003.3.7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターミナル* (参考)
H 0 4 B 10/04		G 0 2 F 1/01	B 2 H 0 7 9
G 0 2 F 1/01			F 2 K 0 0 2
		1/015	5 0 2 5 F 0 7 2
1/015	5 0 2	1/31	5 K 1 0 2
1/31		2/02	

審査請求 未請求 請求項の数32 O L (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-167075 (P2002-167075)

(22) 出願日 平成14年6月7日 (2002.6.7)

(31) 優先権主張番号 特願2001-179168 (P2001-179168)

(32) 優先日 平成13年6月13日 (2001.6.13)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 可児 淳一

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 荒谷 克寛

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外2名)

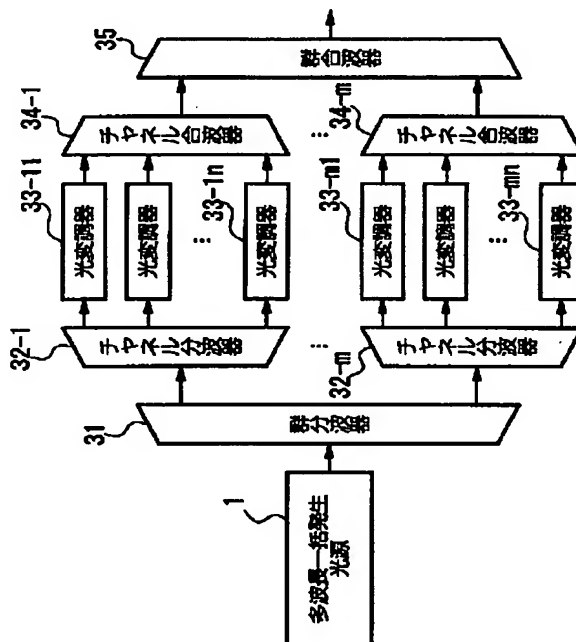
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多波長光変調回路及び波長多重光信号送信装置

(57) 【要約】

【課題】 AWGのFSR以上の帯域をもつ多波長光について個別の波長チャンネルに分波するとともに、各波長チャンネル間のパワーレベル偏差を抑制する。

【解決手段】 分波器は、多波長光をそれぞれ複数の波長チャンネルからなる波長群ごとに分波する群分波器31と、各波長群をそれぞれ複数の波長チャンネルの光に分波する複数のチャンネル分波器32-1~32-mから構成され、合波器は、各波長チャンネルの変調信号光を波長群ごとにそれぞれ合波する複数のチャンネル合波器34-1~34-mと、各チャンネル合波器から出力される波長群ごとの波長多重信号光を合波する群合波器35から構成される。群分波器のFSRは多波長光の帯域以上とし、チャンネル合波器として、FSRが群合波器の各ポートの透過特性の半値全幅程度となるAWGを用いる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の波長を有する多波長光を入力して前記多波長光をそれぞれ複数の波長からなる波長群に分波する群分波器と、

前記各波長群をそれぞれの波長の光に分波する複数のチャンネル分波器と、

前記チャンネル分波器により分波された各波長の光を送信信号により変調する複数の光変調器と、

前記複数の光変調器から出力される各波長の変調信号光を波長群ごとにそれぞれ合波する複数のチャンネル合波器と、

前記各チャンネル合波器から出力される波長群ごとの波長多重信号光を合波する群合波器とを備えることを特徴とする多波長光変調回路。

【請求項2】 請求項1に記載の多波長光変調回路において、前記多波長光の帯域が前記チャンネル分波器及び前記チャンネル合波器のフリースペクトルレンジ以上であることを特徴とする多波長光変調回路。

【請求項3】 請求項2に記載の多波長光変調回路において、

前記群分波器及び前記群合波器は、前記多波長光が配置された帯域以上のフリースペクトルレンジを有し、

前記チャンネル分波器及び前記チャンネル合波器は、前記群分波器及び前記群合波器の波長が隣り合っているポート間の透過中心周波数差に相当するフリースペクトルレンジを有することを特徴とする多波長光変調回路。

【請求項4】 請求項1に記載の多波長光変調回路において、

前記多波長光は、チャンネル周波数間隔 Δf で並んだ n

(n は任意の自然数)個の波長からなり、中心周波数間隔が $\Delta \nu$ であり、かつ $n \times \Delta f \leq \Delta \nu$ の関係を満たすような複数の波長セットが周波数軸上に分布した光スペクトルを有し、

前記群分波器の出力ポート番号を透過周波数の順に定義した場合に、前記群分波器の隣り合う出力ポートの透過中心周波数差は $\Delta \nu$ の p 倍(p は任意の自然数)であり、

前記群合波器の入力ポート番号を透過周波数の順に定義した場合に、前記群合波器の隣り合う入力ポートの透過中心周波数差は $\Delta \nu$ の p 倍であることを特徴とする多波長光変調回路。

【請求項5】 請求項4に記載の多波長光変調回路において、

前記群分波器および前記群合波器は、その入出力ポートの透過中心周波数が前記各波長セットの中心周波数と一致しており、前記波長セット単位に分波または合波することを特徴とする多波長光変調回路。

【請求項6】 請求項5に記載の多波長光変調回路において、

前記多波長光は、中心周波数が互いに異なる複数の連続

光を合波し所定の周期信号により強度変調および位相変調して得られた、前記各波長セットの中心周波数およびその側帯波からなることを特徴とする多波長光変調回路。

【請求項7】 請求項5に記載の多波長光変調回路において、

前記多波長光は、中心周波数が互いに異なる複数の繰り返し短光パルスを合波した光であることを特徴とする多波長光変調回路。

10 【請求項8】 請求項1に記載の多波長光変調回路において、

前記群合波器および前記群分波器は、1つの波長合分波器に対して光を逆方向に伝搬させて合波および分波を行う1つの群合分波器で構成され、

前記各チャンネル合波器および前記各チャンネル分波器は、1つの波長合分波器に対して光を逆方向に伝搬させて合波および分波を行う1つのチャンネル合分波器で構成され、

20 前記群合分波器の前段に配置され、第1の光入出力端子から入力される前記多波長光を第2の光入出力端子を介して前記群合分波器に入力するとともに、前記第2の光入出力端子を介して前記群合分波器から入力される波長多重信号光を第3の光入出力端子を介して出力する光入出力手段をさらに備え、

前記各光変調器は、第4の光入出力端子と光変調素子と光反射素子とを備え、前記第4の光入出力端子を介して前記チャンネル合分波器から入力される各波長の光を前記光変調素子によって変調した後に、前記光反射素子によって折り返し、前記第4の光入出力端子を介して前記チャンネル合分波器に出力するものであり、

30 前記チャンネル合分波器を前記群合分波器と前記光変調器の間に配置したことを特徴とする多波長光変調回路。

【請求項9】 請求項1に記載の多波長光変調回路において、

前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、

前記群分波器および前記群合波器の少なくとも一方は、前記多波長光の光スペクトルのパワーレベル偏差を打ち消す透過特性を有することを特徴とする多波長光変調回路。

40 【請求項10】 請求項1に記載の多波長光変調回路において、

前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、

前記複数の光変調器の前段または後段に、利得制御により各波長のパワーレベルが一定になるように調節する複数の半導体光増幅器を備えたことを特徴とする多波長光変調回路。

50 【請求項11】 請求項1に記載の多波長光変調回路において、

前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、

前記複数の光変調器として複数の半導体光増幅器を用い、前記各半導体光増幅器は前記送信信号に重畳するバイアス電流の調節により各波長のパワーレベルが一定になるように制御することを特徴とする多波長光変調回路。

【請求項12】 請求項1に記載の多波長光変調回路において、

前記群分波器の前段に配置され、前記多波長光の偏波を保持しながらその光強度を増幅する偏波保持型光ファイバ増幅器と、

前記群合波器の後段に配置され、前記群合波器から出力される波長多重変調光の偏波に依存せずにその光強度を増幅する偏波無依存光ファイバ増幅器と、

前記群合波器の後段に配置され、前記群合波器から出力される波長多重変調光または前記偏波無依存光ファイバ増幅器により増幅された波長多重変調光を偏波に依存せずにその光レベルを均一にする偏波無依存利得等化器とをさらに備えたことを特徴とする多波長光変調回路。

【請求項13】 請求項1に記載の多波長光変調回路において、

前記多波長光に代えて自然放光光を入力することを特徴とする多波長光変調回路。

【請求項14】 複数の波長を有する多波長光を発生させる多波長一括発生光源と多波長光変調回路とを備え、前記多波長光変調回路は、

前記多波長光を入力して前記多波長光をそれぞれ複数の波長から成る波長群に分波する群分波器と、

前記各波長群をそれぞれの波長の光に分波する複数のチャンネル分波器と、

前記チャンネル分波器により分波された各波長の光を送信信号により変調する複数の光変調器と、

前記複数の光変調器から出力される各波長の変調信号光を波長群ごとにそれぞれ合波する複数のチャンネル合波器と、

前記各チャンネル合波器から出力される波長群ごとの波長多重信号光を合波する群合波器とを備えることを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項15】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長光の帯域が前記チャンネル分波器及び前記チャンネル合波器のフリースペクトルレンジ以上であることを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項16】 請求項15に記載の波長多重光信号送信装置において、

前記群分波器及び前記群合波器は、前記多波長一括発生光源から出力される前記多波長光が配置された帯域以上のフリースペクトルレンジを有し、

前記チャンネル分波器及び前記チャンネル合波器は、前記群分波器及び前記群合波器の波長が隣り合っているポート

間の透過中心周波数差に相当するフリースペクトルレンジを有することを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項17】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、

前記多波長一括発生光源は、チャンネル周波数間隔 Δf で並んだ n (n は任意の自然数)個の波長からなり、中心周波数間隔が $\Delta \nu$ であり、 $n \times \Delta f \leq \Delta \nu$ の関係を満たす複数の波長セットが周波数軸上に分布した光スペクトルを有する多波長光を発生し、

10 前記群分波器の出力ポート番号を透過周波数の順に定義した場合に、前記群分波器の隣り合う出力ポートの透過中心周波数差は $\Delta \nu$ の p (p は任意の自然数)倍であり、

前記群合波器の入力ポート番号を透過周波数の順に定義した場合に、前記群合波器の隣り合う入力ポートの透過中心周波数差は $\Delta \nu$ の p 倍であることを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項18】 請求項17に記載の波長多重光信号送信装置において、

20 前記群分波器および前記群合波器は、その入出力ポートの透過中心周波数が前記各波長セットの中心周波数と一致しており、前記波長セット単位に分波または合波することを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項19】 請求項18に記載の波長多重光信号送信装置において、

前記多波長一括発生光源は、中心周波数が互いに異なる複数の連続光を合波して出力する光発生部と、

前記光発生部からの出力光を所定の周期信号で強度変調および位相変調し、前記各波長セットの中心周波数およびその側帯波からなる多波長光を発生させる多波長化変調部とを備えることを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項20】 請求項18に記載の波長多重光信号送信装置において、

前記多波長一括発生光源は、中心周波数が互いに異なる複数の繰り返し短光パルスを出力する複数の繰り返しパルス光源と、

前記複数の繰り返し短光パルスを合波する合波器とを備えることを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項21】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、

前記群合波器および前記群分波器は、1つの波長合分波器に対して光を逆方向に伝搬させて合波および分波を行う1つの群合分波器で構成され、

前記各チャンネル合波器および前記各チャンネル分波器は、1つの波長合分波器に対して光を逆方向に伝搬させて合波および分波を行う1つのチャンネル合分波器で構成され、

50 前記多波長一括発生光源と前記群合分波器との間に配置

され、第1の光入出力端子から入力される前記多波長光を第2の光入出力端子を介して前記群合分波器に入力するとともに、前記第2の光入出力端子を介して前記群合分波器から入力される波長多重信号光を第3の光入出力端子を介して出力する光入出力手段をさらに備え、前記各光変調器は、第4の光入出力端子と光変調素子と光反射素子とを備え、前記第4の光入出力端子を介して前記チャネル合分波器から入力される各波長の光を前記光変調素子によって変調した後に、前記光反射素子によって折り返し、前記第4の光入出力端子を介して前記チャネル合分波器に出力するものであり、前記チャネル合分波器を前記群合分波器と前記光変調器の間に配置したことを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項22】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源から出力される前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、前記群分波器および前記群合波器の少なくとも一方は、前記多波長光の光スペクトルのパワーレベル偏差を打ち消す透過特性を有することを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項23】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源から出力される前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、前記複数の光変調器の前段または後段に、利得制御により各波長のパワーレベルが一定になるように調節する複数の半導体光増幅器を備えたことを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項24】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源から出力される前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、前記複数の光変調器として複数の半導体光増幅器を用い、前記各半導体光増幅器は前記送信信号に重畳するバイアス電流の調節により各波長のパワーレベルが一定になるように制御することを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項25】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源と前記群分波器との間に配置され、前記多波長光の偏波を保持しながらその光強度を増幅する偏波保持型光ファイバ増幅器と、前記群合波器の後段に配置され、前記群合波器から出力される波長多重変調光の偏波に依存せずにその光強度を増幅する偏波無依存光ファイバ増幅器と、前記群合波器の後段に配置され、前記群合波器から出力される波長多重変調光または前記偏波無依存光ファイバ増幅器により増幅された波長多重変調光を偏波に依存せ

ずにその光レベルを均一にする偏波無依存光利得等化器とをさらに備えたことを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項26】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、入力が光学的に終端されて自然放出光を出力する偏波保持型光ファイバ増幅器を前記多波長一括発生光源の代わりに用いることを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項27】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源を複数備え、

前記各多波長一括発生光源は、単一または複数の中心波長を有する光を発生する光発生部と、前記光発生部の出力光を所定の周期信号により強度変調および位相変調し、前記中心波長およびその側帯波からなる多波長光を発生させる多波長化変調部とを備え、

前記複数の多波長一括発生光源の1つを選択して前記多波長光変調回路に接続するとともに、選択された多波長一括発生光源に異常が発生したときに他の多波長一括発生光源に切り換えて前記多波長光変調回路に接続する光スイッチをさらに備えたことを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項28】 請求項27に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長光変調回路を複数備え、前記光スイッチで選択された多波長一括発生光源からの多波長光を複数に分岐して前記複数の多波長光変調回路にそれぞれ供給する手段をさらに備えたことを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項29】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源は、単一または複数の中心波長を有する光を発生する光発生部と、前記光発生部の出力光を所定の周期信号により強度変調または位相変調し、前記中心波長およびその側帯波からなる多波長光を発生させる複数の多波長化変調部と、前記光発生部の出力光を分岐して前記各多波長化変調部に供給する手段とを備え、

前記多波長化変調部の1つを選択して前記多波長光変調回路に接続するとともに、選択された多波長化変調部に異常が発生したときに他の多波長化変調部に切り換えて前記多波長光変調回路に接続する光スイッチをさらに備えたことを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項30】 請求項29に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長光変調回路を複数備え、前記光スイッチで選択された多波長化変調部からの多波長光を複数に分岐して前記複数の多波長光変調回路にそれぞれ供給する手段をさらに備えたことを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項31】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、

前記多波長一括発生光源は、単一または複数の中心波長を有する光を発生する少なくとも1つの光発生部と、前記少なくとも1つの光発生部の出力光を所定の周期信号により強度変調または位相変調し、前記中心波長およびその側帯波からなる多波長光を発生させるN個（Nは2以上の自然数）の多波長化変調部と、前記少なくとも1つの光発生部の出力光を分岐して前記各多波長化変調部に供給する手段とを備え、

前記光変調部をM個（Mは $M < N$ を満たす2以上の整数）備え、

M個の前記多波長化変調部と、前記M個の多波長光変調回路をそれぞれ1対1に接続するとともに、前記M個の多波長光変調部のいずれかに故障が発生したときに、

（N-M）個ある予備の多波長化変調部に切り換えて対応する多波長光変調回路に接続するN×M光スイッチを備えたことを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【請求項32】 請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、

前記多波長一括発生光源と前記多波長光変調回路を有する波長多重光信号送信部を複数備え、

前記複数の波長多重光信号送信部の出力する複数の波長が互いに重ならず補完しあうように前記複数の波長多重光信号送信部を構成し、

前記複数の波長多重光信号送信部の出力を結合する光結合器をさらに備えたことを特徴とする波長多重光信号送信装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多波長光を分波し、その各波長チャネルの光を複数の光変調器でそれぞれ変調し、その変調信号光を波長多重して送信する多波長光変調回路及びこれを用いた波長多重光信号送信装置に関する。特に本発明は、多波長一括発生光源から出力される広帯域な多波長光を個別の波長チャネルに分波できる多波長光変調回路及び波長多重光信号送信装置に関する。また本発明は、各波長チャネルのパワーレベル偏差を抑えた多波長光変調回路及び波長多重光信号送信装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年の伝送容量増大の要求に応えるために、1本の光ファイバ伝送路で異なる波長を有する複数の光信号を伝送する波長分割多重（WDM）伝送システムの開発が進められている。最近では、多重数が数百チャネル以上といったWDM伝送システムが報告されており、商用レベルでは160チャネルのWDM伝送システムが製品化されている。

【0003】図30は、多波長光変調回路を備えた従来の波長多重光信号送信装置の構成例を示す。同図の構成

は例えば論文N. Takachio et al. "Wide area gigabit access network based on 12.5 GHz spaced 256 channel super-dense WDM technologies", IEE Electronics Letters, vol. 37, pp. 309-310, March 1, 2001に開示されている。図において、波長多重光信号送信装置は、多波長一括発生光源981から出力される多波長光を分波器982でフィルタリング（スペクトルスライス）して複数の波長チャネルの光を生成し、その各波長チャネルの光を複数の光変調器983-1～983-nでそれぞれ変調し、その変調信号光を合波器984で波長多重して送信する構成である。多波長光とは、それを波長成分毎に分離し、そのそれぞれを、異なる信号の光搬送波として利用し得る、複数の異なる波長成分から構成された光である。多波長光は、レーザ光の位相を単一周波数で変調することにより得られる。なお、モード同期法を用いて多波長光を得ることもできる（論文 H. Sanjoh et al., "Multiwavelength Light Source with Precise Frequency Spacing Using a Mode-Locked Semiconductor Laser and an Arrayed Waveguide Grating Filter," IEEE Photonics Technology Letters, VOL. 9, NO. 6, JUNE 1997）。また、パルス光に非線形効果を与えることにより、超多波長光（スーパーコンティニウム光）を得ることもできる。これらのように、1つまたは複数の種となる光源から、効率的に多波長光を発生させる多波長光源を、多波長一括発生光源と呼ぶ。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の波長多重光信号送信装置では、分波器982および合波器984としてアレイ導波路回折格子型フィルタ（AWG）が利用されている。しかし、AWGにはフリースペクトルレンジ（FSR）毎の波長をすべて透過するという周期的透過特性がある。このため、多重度が例えば1000チャネル以上といった波長数をもつ広帯域な多波長光を分波する場合に、多波長光と同じチャネル間隔をもつチャネル分波用のAWGでは、図31に示すように、多波長光の帯域がAWGのFSRを越えてしまい、1つの出力ポートから複数の波長が出力されることになる。すなわち、このようなチャネル分波用のAWGでは、FSR以上の帯域をもつ多波長光を個別の波長チャネルに分波することはできない。

【0005】また、多波長一括発生光源981としては、光ファイバ増幅器から出力される増幅された自然放光（ASE光）を利用するものや、繰り返し短光パルスを利用するものがある。

【0006】繰り返し短光パルスを利用する場合には、図32に示すように、スペクトルスライス後の各波長チャネル間にパワーレベル偏差が生じるという問題がある。波長毎のパワーが均一でないと、パワーの高い波長がパワーの低い波長に与えるクロストークが大きくなって過剰な劣化を生じる可能性がある。また、パワーの高

い波長が非線形効果による劣化を生じないように全体のパワーを低減するとパワーの低い波長の雑音が大きくなる。

【0007】本発明は、多波長一括発生光源を用いて多波長光を発生させ、その多波長光を分波し、その各波長チャンネルの光を複数の光変調器でそれぞれ変調し、その変調信号光を波長多重して出力する多波長光変調回路及び波長多重光信号送信装置において、AWGのFSR以上の帯域をもつ多波長光について個別の波長チャンネルに分波できるようにすることを目的とする。これに加えて

【0008】

【課題を解決するための手段】以上の課題を解決するために、請求項1記載の多波長光変調回路は、複数の波長を有する多波長光を入力して前記多波長光をそれぞれ複数の波長からなる波長群に分波する群分波器と、前記各波長群をそれぞれの波長の光に分波する複数のチャンネル分波器と、前記チャンネル分波器により分波された各波長の光を送信信号により変調する複数の光変調器と、前記複数の光変調器から出力される各波長の変調信号光を波長群ごとにそれぞれ合波する複数のチャンネル合波器と、前記各チャンネル合波器から出力される波長群ごとの波長多重信号光を合波する群合波器とを備えることを特徴としている。

【0009】請求項2記載の多波長光変調回路は、請求項1に記載の多波長光変調回路において、前記多波長光の帯域が前記チャンネル分波器及び前記チャンネル合波器のフリースペクトルレンジ以上であることを特徴としている。請求項3記載の多波長光変調回路は、請求項2に記載の多波長光変調回路において、前記群分波器及び前記群合波器は、前記多波長光が配置された帯域以上のフリースペクトルレンジを有し、前記チャンネル分波器及び前記チャンネル合波器は、前記群分波器及び前記群合波器の波長が隣り合っているポート間の透過中心周波数差に相当するフリースペクトルレンジを有することを特徴としている。

【0010】請求項4記載の多波長光変調回路は、請求項1に記載の多波長光変調回路において、前記多波長光は、チャンネル周波数間隔 Δf で並んだ n (n は任意の自然数)個の波長からなり、中心周波数間隔が $\Delta \nu$ であり、かつ $n \times \Delta f \leq \Delta \nu$ の関係を満たすような複数の波長セットが周波数軸上に分布した光スペクトルを有し、前記群分波器の出力ポート番号を透過周波数の順に定義した場合に、前記群分波器の隣り合う出力ポートの透過中心周波数差は $\Delta \nu$ の p 倍 (p は任意の自然数)であり、前記群合波器の入力ポート番号を透過周波数の順に定義した場合に、前記群合波器の隣り合う入力ポートの透過中心周波数差は $\Delta \nu$ の p 倍であることを特徴として

いる。

【0011】請求項5記載の多波長光変調回路は、請求項4に記載の多波長光変調回路において、前記群分波器および前記群合波器は、その入出力ポートの透過中心周波数が前記各波長セットの中心周波数と一致しており、前記波長セット単位に分波または合波することを特徴としている。請求項6記載の多波長光変調回路は、請求項5に記載の多波長光変調回路において、前記多波長光は、中心周波数が互いに異なる複数の連続光を合波し所定の周期信号により強度変調および位相変調して得られた、前記各波長セットの中心周波数およびその側帯波からなることを特徴としている。請求項7記載の多波長光変調回路は、請求項5に記載の多波長光変調回路において、前記多波長光は、中心周波数が互いに異なる複数の繰り返し短光パルスを合波した光であることを特徴としている。

【0012】請求項8記載の多波長光変調回路は、請求項1に記載の多波長光変調回路において、前記群合波器および前記群分波器は、1つの波長合分波器に対して光を逆方向に伝搬させて合波および分波を行う1つの群合分波器で構成され、前記各チャンネル合波器および前記各チャンネル分波器は、1つの波長合分波器に対して光を逆方向に伝搬させて合波および分波を行う1つのチャンネル合分波器で構成され、前記群合分波器の前段に配置され、第1の光入出力端子から入力される前記多波長光を第2の光入出力端子を介して前記群合分波器に入力するとともに、前記第2の光入出力端子を介して前記群合分波器から入力される波長多重信号光を第3の光入出力端子を介して出力する光入出力手段をさらに備え、前記各光変調器は、第4の光入出力端子と光変調素子と光反射素子とを備え、前記第4の光入出力端子を介して前記チャンネル合分波器から入力される各波長の光を前記光変調素子によって変調した後に、前記光反射素子によって折り返し、前記第4の光入出力端子を介して前記チャンネル合分波器に出力するものであり、前記チャンネル合分波器を前記群合分波器と前記光変調器の間に配置したことを特徴としている。

【0013】請求項9記載の多波長光変調回路は、請求項1に記載の多波長光変調回路において、前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、前記群分波器および前記群合波器の少なくとも一方は、前記多波長光の光スペクトルのパワーレベル偏差を打ち消す透過特性を有することを特徴としている。請求項10記載の多波長光変調回路は、請求項1に記載の多波長光変調回路において、前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、前記複数の光変調器の前段または後段に、利得制御により各波長のパワーレベルが一定になるように調節する複数の半導体光増幅器を備えたことを特徴としている。請求項11記載の多波長光変調回路は、請求項1に記載の多波長光変調回路において、

前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、前記複数の光変調器として複数の半導体光増幅器を用い、前記各半導体光増幅器は前記送信信号に重畳するバイアス電流の調節により各波長のパワーレベルが一定になるように制御することを特徴としている。

【0014】請求項12記載の多波長光変調回路は、請求項1に記載の多波長光変調回路において、前記群分波器の前段に配置され、前記多波長光の偏波を保持しながらその光強度を増幅する偏波保持型光ファイバ増幅器と、前記群合波器の後段に配置され、前記群合波器から出力される波長多重変調光の偏波に依存せずにその光強度を増幅する偏波無依存光ファイバ増幅器と、前記群合波器の後段に配置され、前記群合波器から出力される波長多重変調光または前記偏波無依存光ファイバ増幅器により増幅された波長多重変調光を偏波に依存せずにその光レベルを均一にする偏波無依存利得等化器とをさらに備えたことを特徴としている。請求項13記載の多波長光変調回路は、請求項1に記載の多波長光変調回路において、前記多波長光に代えて自然放光光を入力することを特徴としている。

【0015】請求項14記載の波長多重光信号送信装置は、複数の波長を有する多波長光を発生させる多波長一括発生光源と多波長光変調回路とを備え、前記多波長光変調回路は、前記多波長光を入力して前記多波長光をそれぞれ複数の波長から成る波長群に分波する群分波器と、前記各波長群をそれぞれの波長の光に分波する複数のチャンネル分波器と、前記チャンネル分波器により分波された各波長の光を送信信号により変調する複数の光変調器と、前記複数の光変調器から出力される各波長の変調信号光を波長群ごとにそれぞれ合波する複数のチャンネル合波器と、前記各チャンネル合波器から出力される波長群ごとの波長多重信号光を合波する群合波器とを備えることを特徴としている。請求項15記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長光の帯域が前記チャンネル分波器及び前記チャンネル合波器のフリースペクトルレンジ以上であることを特徴としている。

【0016】請求項16記載の波長多重光信号送信装置は、請求項15に記載の波長多重光信号送信装置において、前記群分波器及び前記群合波器は、前記多波長一括発生光源から出力される前記多波長光が配置された帯域以上のフリースペクトルレンジを有し、前記チャンネル分波器及び前記チャンネル合波器は、前記群分波器及び前記群合波器の波長が隣り合っているポート間の透過中心周波数差に相当するフリースペクトルレンジを有することを特徴としている。請求項17記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源は、チャンネル周波数間隔 Δf で並んだ n (n は任意の自然数)個の波長からなり、中心周波数間隔が $\Delta \nu$ であり、 $n \times \Delta f \leq \Delta \nu$ の

関係を満たす複数の波長セットが周波数軸上に分布した光スペクトルを有する多波長光を発生し、前記群分波器の出力ポート番号を透過周波数の順に定義した場合に、前記群分波器の隣り合う出力ポートの透過中心周波数差は $\Delta \nu$ の p (p は任意の自然数)倍であり、前記群合波器の入力ポート番号を透過周波数の順に定義した場合に、前記群合波器の隣り合う入力ポートの透過中心周波数差は $\Delta \nu$ の p 倍であることを特徴としている。

【0017】請求項18記載の波長多重光信号送信装置は、請求項17に記載の波長多重光信号送信装置において、前記群分波器および前記群合波器は、その入出力ポートの透過中心周波数が前記各波長セットの中心周波数と一致しており、前記波長セット単位に分波または合波することを特徴としている。請求項19記載の波長多重光信号送信装置は、請求項18に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源は、中心周波数が互いに異なる複数の連続光を合波して出力する光発生部と、前記光発生部からの出力光を所定の周期信号で強度変調および位相変調し、前記各波長セットの中心周波数およびその側帯波からなる多波長光を発生させる多波長化変調部とを備えることを特徴としている。請求項20記載の波長多重光信号送信装置は、請求項18に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源は、中心周波数が互いに異なる複数の繰り返し短光パルスを出力する複数の繰り返しパルス光源と、前記複数の繰り返し短光パルスを合波する合波器とを備えることを特徴としている。

【0018】請求項21記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記群合波器および前記群分波器は、1つの波長合分波器に対して光を逆方向に伝搬させて合波および分波を行う1つの群合分波器で構成され、前記各チャンネル合波器および前記各チャンネル分波器は、1つの波長合分波器に対して光を逆方向に伝搬させて合波および分波を行う1つのチャンネル合分波器で構成され、前記多波長一括発生光源と前記群合分波器との間に配置され、第1の光入出力端子から入力される前記多波長光を第2の光入出力端子を介して前記群合分波器に入力するとともに、前記第2の光入出力端子を介して前記群合分波器から入力される波長多重信号光を第3の光入出力端子を介して出力する光入出力手段をさらに備え、記各光変調器は、第4の光入出力端子と光変調素子と光反射素子とを備え、前記第4の光入出力端子を介して前記チャンネル合分波器から入力される各波長の光を前記光変調素子によって変調した後に、前記光反射素子によって折り返し、前記第4の光入出力端子を介して前記チャンネル合分波器に出力するものであり、前記チャンネル合分波器を前記群合分波器と前記光変調器の間に配置したことを特徴としている。

【0019】請求項22記載の波長多重光信号送信装置

は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源から出力される前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、前記群分波器および前記群合波器の少なくとも一方は、前記多波長光の光スペクトルのパワーレベル偏差を打ち消す透過特性を有することを特徴としている。請求項23記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源から出力される前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、前記複数の光変調器の前段または後段に、利得制御により各波長のパワーレベルが一定になるように調節する複数の半導体光増幅器を備えたことを特徴としている。

【0020】請求項24記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源から出力される前記多波長光の光スペクトルはパワーレベル偏差を有しており、前記複数の光変調器として複数の半導体光増幅器を用い、前記各半導体光増幅器は前記送信信号に重畳するバイアス電流の調節により各波長のパワーレベルが一定になるように制御することを特徴としている。請求項25記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源と前記群分波器との間に配置され、前記多波長光の偏波を保持しながらその光強度を増幅する偏波保持型光ファイバ増幅器と、前記群合波器の後段に配置され、前記群合波器から出力される波長多重変調光の偏波に依存せずにその光強度を増幅する偏波無依存光ファイバ増幅器と、前記群合波器の後段に配置され、前記群合波器から出力される波長多重変調光または前記偏波無依存光ファイバ増幅器により増幅された波長多重変調光を偏波に依存せずにその光レベルを均一にする偏波無依存光利得等化器とをさらに備えたことを特徴としている。

【0021】請求項26記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、入力が光学的に終端されて自然放出光を出力する偏波保持型光ファイバ増幅器を前記多波長一括発生光源の代わりに用いることを特徴としている。請求項27記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源を複数備え、前記各多波長一括発生光源は、単一または複数の中心波長を有する光を発生する光発生部と、前記光発生部の出力光を所定の周期信号により強度変調および位相変調し、前記中心波長およびその側帯波からなる多波長光を発生させる多波長化変調部とを備え、前記複数の多波長一括発生光源の1つを選択して前記多波長光変調回路に接続するとともに、選択された多波長一括発生光源に異常が発生したときに他の多波長一括発生光源に切り換えて前記多波長光変調回路に接続する光スイッチをさらに備えたことを特徴としている。

【0022】請求項28記載の波長多重光信号送信装置は、請求項27に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長光変調回路を複数備え、前記光スイッチで選択された多波長一括発生光源からの多波長光を複数に分岐して前記複数の多波長光変調回路にそれぞれ供給する手段をさらに備えたことを特徴としている。請求項29記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源は、単一または複数の中心波長を有する光を発生する光発生部と、前記光発生部の出力光を所定の周期信号により強度変調または位相変調し、前記中心波長およびその側帯波からなる多波長光を発生させる複数の多波長化変調部と、前記光発生部の出力光を分岐して前記各多波長化変調部に供給する手段とを備え、前記多波長化変調部の1つを選択して前記多波長光変調回路に接続するとともに、選択された多波長化変調部に異常が発生したときに他の多波長化変調部に切り換えて前記多波長光変調回路に接続する光スイッチをさらに備えたことを特徴としている。

【0023】請求項30記載の波長多重光信号送信装置は、請求項29に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長光変調回路を複数備え、前記光スイッチで選択された多波長化変調部からの多波長光を複数に分岐して前記複数の多波長光変調回路にそれぞれ供給する手段をさらに備えたことを特徴としている。請求項31記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源は、単一または複数の中心波長を有する光を発生する少なくとも1つの光発生部と、前記少なくとも1つの光発生部の出力光を所定の周期信号により強度変調または位相変調し、前記中心波長およびその側帯波からなる多波長光を発生させるN個（Nは2以上の自然数）の多波長化変調部と、前記少なくとも1つの光発生部の出力光を分岐して前記各多波長化変調部に供給する手段とを備え、前記光変調部をM個（Mは $M < N$ を満たす2以上の整数）備え、M個の前記多波長化変調部と、前記M個の多波長光変調回路をそれぞれ1対1に接続するとともに、前記M個の多波長光変調部のいずれかに故障が発生したときに、（N-M）個ある予備の多波長化変調部に切り換えて対応する多波長光変調回路に接続するN×M光スイッチを備えたことを特徴としている。

【0024】請求項32記載の波長多重光信号送信装置は、請求項14に記載の波長多重光信号送信装置において、前記多波長一括発生光源と前記多波長光変調回路を有する波長多重光信号送信部を複数備え、前記複数の波長多重光信号送信部の出力する複数の波長が互いに重ならず補完しあうように前記複数の波長多重光信号送信部を構成し、前記複数の波長多重光信号送信部の出力を結合する光結合器をさらに備えたことを特徴としている。

【0025】

【発明の実施の形態】〔第1の実施形態〕図1は、本発明の波長多重光信号送信装置の第1の実施形態を示す。

【0026】図において、本実施形態の波長多重光信号送信装置は、複数の波長を有する多波長光を一括発生する多波長一括発生光源1と、その多波長光をそれぞれ複数の波長チャンネルからなる波長群ごとに分波する群分波器31と、各波長群をそれぞれ複数の波長チャンネルに分波するチャンネル分波器32-1～32-mと、各波長チャンネルの光をそれぞれ送信信号により変調する複数の光変調器33-11～33-mnと、各チャンネルの変調信号光を波長群ごとにそれぞれ合波するチャンネル合波器34-1～34-mと、各チャンネル合波器から出力される波長群ごとの波長多重信号光を合波する群合波器35により構成される。多波長一括発生光源1以外の構成要素が多波長光変調回路を構成している。

【0027】なお、群分波器31と群合波器35、チャンネル分波器32とチャンネル合波器34は、それぞれ同じ透過特性を有する対になる構成であり、例えばアレイ導波路回折格子型フィルタ(AWG)により構成することができる。また、群分波器31及び群合波器35はAWGのほかにも誘電体多層膜フィルタやファイバグレーティング等で構成することができる。以下、群分波器31およびチャンネル分波器32の透過特性を示すが、群合波器35およびチャンネル合波器34の透過特性も同様である。

【0028】図2は、群分波器31およびチャンネル分波器32の透過特性を示す。多波長一括発生光源1から出力される多波長光のチャンネル周波数間隔を Δf とする。群分波器31のFSRは、多波長一括発生光源1から出力される多波長光の帯域以上とし、各ポートの透過特性の半値全幅はチャンネル周波数間隔 Δf の整数倍($n \times \Delta f$)程度とし、透過中心周波数間隔 $\Delta \nu$ は $\Delta \nu \geq n \times \Delta f$ となるように設定される。チャンネル分波器32のFSRは、群分波器31の各ポートの透過特性の半値全幅以上とし、各ポートの透過中心周波数間隔が Δf となるように設定される。これにより、多波長光の群分波とチャンネル分波が可能となる。

【0029】多波長一括発生光源1は、チャンネル周波数間隔 Δf で各チャンネルが一様に並んだ多波長光(図2)を出力する構成の他に、図3に示すように、チャンネル周波数間隔 Δf で並んだ n 個のチャンネルからなる波長セットの中心周波数間隔が $\Delta \nu$ で、かつ $\Delta \nu \geq n \times \Delta f$ の関係を満たすように周波数軸上に分布する多波長光を出力する構成としてもよい。この場合には、群分波器(群合波器)の、波長の隣り合う出(入)力ポートの透過中心周波数差を、多波長光の各波長セットの中心周波数差の p 倍(p は任意の自然数)とする。 $p=1$ の場合は、多波長光の各波長セットは、群分波器(群合波器)によって分波(合波)される各波長群に一致する。

【0030】図3に示すような多波長光を発生する多波

長一括発生光源1の構成と、各チャンネル間のパワーレベル偏差を抑制するための群合分波器およびチャンネル合分波器の透過特性について以下に説明する。なお、パワーレベル偏差を抑制するには、例えばスーパーコンティニウム光源を用いて光スペクトル平坦化を行う手法や、多波長一括発生光源の出力光スペクトル形状と逆特性をもつ光フィルタを用いて光スペクトル平坦化を行う手法が考えられる。本実施形態では、多波長一括発生光源から出力された多波長光の光スペクトルと逆形状の透過特性を群合分波器に与えることでチャンネル間のパワーレベル偏差を抑制している。

【0031】＜多波長一括発生光源1の第1の構成例＞図4は、多波長一括発生光源1の第1の構成例を示す。ここに示す例は、複数の中心周波数を有する連続光に対して特定の繰り返し周期を有する電気信号(例えば正弦波)を用いて位相変調および強度変調(振幅変調)を行い、各中心波長に対して側帯波を発生させることにより多波長光を一括して発生させる多波長一括発生光源(特願2001-199791)である。

【0032】図において、多波長一括発生光源1は、光発生部10および多波長化変調部20により構成される。光発生部10は、互いに異なる中心周波数 $f_1 \sim f_n$ の連続光を発生する n 個の半導体レーザ(LD)11-1～11-nと、各連続光を合波する合波器12により構成される。多波長化変調部20は、光発生部10の出力光を強度変調(振幅変調)する強度変調器21および位相変調する位相変調器22と(各変調器の順番は任意であって、強度変調器21を位相変調器22の後段に配置してもよい)、各変調器に印加する所定の周期信号(正弦波)を発生する周期信号発生器23と、周期信号の印加電圧およびバイアス電圧を調整する電圧調整部24、25から構成される。なお、多波長化変調部20は、例えばマッハツェンダ強度変調器を用いて分岐されたパスで位相変調を行い、全体として強度変調(振幅変調)動作させる構成としてもよい。

【0033】強度変調器21では、光発生部10の出力光(連続光)の時間波形の振幅を所望の波長間隔に相当する一定の周波数で変調することにより、その出力光として、光発生部の出力周波数を中心に当該周波数間隔の離散的な波長の側帯波を有する光スペクトルが得られる。さらに、位相変調器22では、その変調波の位相を変調することにより、離散光スペクトルを周波数軸上で上下側帯波に偏移させる。ここで、各変調器の周波数偏移量を調節し、離散光スペクトルが重なって各側帯波のパワーレベル偏差が一定になるように制御することにより、図5に示すような各中心周波数 $f_1 \sim f_n$ に対して等間隔の側帯波を有する光スペクトルが得られる。ただし、この多波長光の光スペクトルは、位相変調の効果によって中心周波数パワーがくぼんでいる。

【0034】このような光スペクトルを有する多波長光

に対しては、群合分波器（31, 35）の透過特性としてガウシアン分布特性のものをを用いることにより、各チャンネルのパワーレベル偏差を抑制することができる。

【0035】図6は、多波長一括発生光源1の第1の構成例に対応する群分波器31およびチャンネル分波器32の透過特性を示す。ここに示すように、群分波器31の透過特性としてガウシアン分布特性のものをを用い、その透過中心周波数と多波長光の波長セットの中心周波数 $f_1 \sim f_n$ を一致させ、さらに透過中心周波数がチャンネル周波数間隔 Δf に設定されたチャンネル分波器32を用いることにより、パワーレベル偏差が抑制された各波長チャンネルに分波することができる。

【0036】＜多波長一括発生光源1の第2の構成例＞図7は、多波長一括発生光源1の第2の構成例を示す。図において、多波長一括発生光源1は、中心周波数が互いに異なる繰り返し短光パルスを出力する複数の繰り返しパルス光源41-1～41-nと、各繰り返し短光パルスを合波する合波器42により構成される。

【0037】このような多波長一括発生光源1から出力される多波長光の光スペクトルは、ガウシアン型に近似されるので、群合分波器（31, 35）の透過特性として透過波長域の中心において透過率が窪んだ特性のものをを用いることにより、各チャンネルのパワーレベル偏差を抑制することができる。

【0038】図8は、多波長一括発生光源1の第2の構成例に対応する群分波器31およびチャンネル分波器32の透過特性を示す。ここに示すように、ガウシアン型の多波長光に対して、群分波器31の透過特性として透過波長域の中心において透過率が窪んだ特性のものをを用い、その透過中心周波数と多波長光の波長セットの中心周波数 $f_1 \sim f_n$ を一致させ、さらに透過中心周波数がチャンネル周波数間隔 Δf に設定されたチャンネル分波器32を用いることにより、パワーレベル偏差が抑制された各波長チャンネルに分波することができる。

【0039】また、上述した第1の実施形態において、パワーレベル偏差を抑制するためには、必ずしも群分波器の透過特性のみを制御するのではなく、群分波器と群合波器の合計の透過特性が上記のパワー偏差抑制を実現するように制御しても良い。

【0040】〔第2の実施形態〕図9は本発明の第2の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。なお、図1に示したものと同一構成要素については同一の符号を付けている。本実施形態の特徴は、光変調器33-11～33-mnの出力を反射する光反射手段6を設けたこと、群分波器31と群合波器35を群合分波器3に集約したこと、および、チャンネル分波器32とチャンネル合波器34をチャンネル合分波器4に集約したことにある。なお、多波長一括発生光源1の出力を群合分波器3に接続すると共に、群合分波器3の合波出力を波長多重光信号送信装置の出力として取り出

すために、光サーキュレータ2あるいはそれに代わる同機能の光入出力手段が用いられる。

【0041】図9において、光サーキュレータ2は多波長光源1から出力される多波長光を群合分波器3に入力する。群合分波器3は入力された多波長光を波長群ごとに分波してチャンネル合分波器4-1～4-mに入力する。各チャンネル合分波器4は各波長群を波長間隔の等しい複数の光搬送波に分波する。光変調器33-11～33-mnはそれぞれ対応する各波長の光搬送波を変調し、光反射手段6は各変調光を折り返す。チャンネル合分波器4-1～4-mは各チャンネルの変調信号光を波長群ごとに合波し、群合分波器3が波長群ごとの波長多重信号光を合波する。光サーキュレータ2はこの合波光を光伝送路に送信する。

【0042】なお、光反射手段6としては、金属膜または誘電体多層膜をコーティングした鏡などや、特定の波長を反射する手段である回折格子やファイバブラッググレーティングなどを用いることができる。また、図9では光変調器33と光反射手段6を接触させる構造としたが、光ファイバあるいは光導波路を介してこれらを光学的に接続する構造としても良い。なお、本実施形態においては、群分波器と群合波器の合計の透過特性が上記のパワー偏差抑制を実現するように制御されている。

【0043】〔第3の実施形態〕第1の実施形態では、群合分波器の各出力ポートに、多波長一括発生光源1から出力された多波長光の光スペクトルと逆形状の透過特性を与えることにより、チャンネル間のパワーレベル偏差を抑制できることを示した。本実施形態では、群合分波器の透過特性によらずにチャンネル間のパワーレベル偏差を抑制するための構成について説明する。

【0044】図10は、本発明の波長多重光信号送信装置の第3の実施形態を示す。図において、本実施形態の波長多重光信号送信装置は、複数の波長を有する多波長光を一括発生する多波長一括発生光源1と、その多波長光をそれぞれ複数の波長チャンネルからなる波長群ごとに分波する群分波器31と、各波長群をそれぞれ複数の波長チャンネルに分波するチャンネル分波器32-1～32-mと、各波長チャンネルの光のパワーレベルを調整する半導体光増幅器（SOA）36-11～36-mnと、各波長チャンネルの光をそれぞれ送信信号により変調する複数の光変調器33-11～33-mnと、各波長チャンネルの変調信号光を波長群ごとにそれぞれ合波するチャンネル合波器34-1～34-mと、各チャンネル合波器から出力される波長群ごとの波長多重信号光を合波する群合波器35により構成される。多波長一括発生光源1以外の構成要素が多波長光変調回路を構成する。

【0045】なお、半導体光増幅器36-11～36-mnは光変調器33-11～33-mnの後段にあってもよい。また、光変調器33-11～33-mnには、半導体光増幅器または電界吸収型変調器などを用いるこ

とができる。

【0046】本実施形態では、チャンネル分波器32で分波される各波長チャンネルの光を半導体光増幅器36に入力し、半導体光増幅器36のバイアス電流を調節して利得制御を行うことにより、チャンネル間のパワーレベル偏差を抑制する。なお、多波長一括発生光源1から出力される多波長光の光スペクトルの形状が予め分かっている場合には、それに応じて各半導体光増幅器の利得制御を行い、チャンネル間のパワーレベル偏差を抑制する。一方、多波長光の光スペクトルの形状が予め分かてい

ない場合には、図示しないモニタ回路により各チャンネルのパワーを検出し、それに応じて各半導体光増幅器の利得制御を行う。

【0047】〔第4の実施形態〕図11は、本発明の波長多重光信号送信装置の第4の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第3の実施形態で使用されているパワーレベルを制御する半導体光増幅器36と光変調器33を1つの半導体光増幅器(SOA)37で構成したこと、および、半導体光増幅器37に送信信号を印加するとともに、送信信号に重畳するバイアス電流を調節することにより利得制御を行うことにあり、かかる構成によってチャンネル間のパワーレベル偏差を抑制する。なお、多波長一括発生光源1以外の構成要素が多波長光変調回路を構成する。

【0048】以上説明したように、第1～第4の実施形態によれば、多波長一括発生光源を用いて多波長光を発生させ、その多波長光を分波し、その各波長チャンネルの光を複数の光変調器でそれぞれ変調し、その変調信号光を波長多重して出力する多波長光変調回路および波長多重光信号送信装置において、群合分波器およびチャンネル合分波器を用いることにより、AWGのFSR以上の帯域をもつ多波長光について個別の波長チャンネルに分波することができる。また、多波長一括発生光源を構成する種光源(半導体レーザ等)の周波数間隔とチャンネル合分波器を構成するAWGのFSRを一致させることにより、透過特性がFSR毎に周期的なAWGの性質を利用して同一特性のAWGを異なる波長群に適用することができる。したがって、チャンネル合分波器を構成するAWGを多品種少量生産する必要がないという利点がある。

【0049】さらに、群合分波器の各出力ポートの透過特性を多波長光の光スペクトル形状と逆特性とすることにより、あるいは各チャンネル単位にパワーレベルを調節する手段を用いることにより、多波長一括発生光源の波長毎の出力パワーが均一でない場合であっても、各波長チャンネル間のパワーレベル偏差を抑制して送信光信号の波長毎のパワーを均一にすることができる。これにより、パワーの高い波長がパワーの低い波長に与えるクロストークが小さくなり過剰な劣化を防止することができる。また、パワーの高い波長が非線形効果による劣化を生じないように全体のパワーを低減する必要がなくなる

ため、パワーの低い波長の雑音が過剰に増加するといった問題も生じない。

【0050】以下に説明する第5～第10の実施形態は多波長一括発生光源の冗長構成によって多波長一括発生光源の信頼性向上を図ったものである。

【0051】〔第5の実施形態〕図12は、本発明の波長多重光信号送信装置の第5の実施形態を示す。

【0052】図において、本実施形態の波長多重光信号送信装置は、2つの多波長一括発生光源201-1、201-2を備え、光スイッチ241でその一方の多波長一括発生光源を選択して光変調部203に接続する。なお、光変調部203が多波長光変調回路を構成している。多波長一括発生光源201-1、201-2は、光発生部210および多波長化変調部220から構成される。

【0053】光スイッチ241は、選択している一方の多波長一括発生光源(現用)から出力される多波長光に異常が発生した場合に、自動または手動で他方の多波長一括発生光源(予備)の方へ切り換える。これにより、光変調部203に対する多波長光の安定的な供給が実現する。

【0054】ここで、図12に示した多波長一括発生光源201としては、例えば、単一の中心波長を有する光を特定の繰り返し周期を有する電気信号(例えば正弦波)を用いて位相変調および強度変調(振幅変調)を行い、側帯波を発生させることにより複数の中心波長を有する多波長光を一括して発生させる多波長一括発生光源を利用することができる(特願2001-199790、以下「先願」という。)

【0055】図13は、こうした先願の多波長一括発生光源を用いた波長多重光信号送信装置の構成例を示す。なお、図13では図12に示した光スイッチ241の図示を省略している。また図14は、こうした多波長一括発生光源における多波長光発生原理を示す。

【0056】図13において、多波長一括発生光源201は、光発生部210および多波長化変調部220により構成される。光発生部210は、単一の中心波長の光を発生する半導体レーザ(LD)211を有する。多波長化変調部220は、光発生部210の出力光を強度変調(振幅変調)する強度変調器221および位相変調する位相変調器222と(各変調器の順番は任意)、各変調器に印加する所定の周期信号(正弦波)を発生する周期信号発生器223と、周期信号の印加電圧およびバイアス電圧を調整する電圧調整部224、225から構成される。なお、多波長化変調部220は、例えばマッハツェンダ強度変調器を用いて分岐されたバスで位相変調を行い、全体として強度変調(振幅変調)動作させる構成としてもよい。

【0057】強度変調器221では、光発生部210の出力光(連続光)の時間波形の振幅を所望の波長間隔に

相当する一定の周波数で変調することにより、その出力光として、光発生部の出力周波数を中心に当該周波数間隔の離散的な波長の側帯波を有する光スペクトルが得られる(図14(a))。さらに、位相変調器222では、その変調波の位相を変調することにより、離散光スペクトルを周波数軸上で上下側帯波に偏移させる(図14(b))。ここで、周波数偏移量を調節することにより、離散光スペクトルが重なって各側帯波のパワーレベル偏差を一定に制御することができる(図14(c))。

【0058】なお、光発生部210は、図4(第1の実施形態)に示したように、互いに異なる中心波長の光を発生する n 個の半導体レーザ(LD)11-1~11- n を備え、合波器12で各レーザ光を合波して出力光とする構成としてもよい。この場合には、多波長化変調部20(図4)で各中心波長に対して側帯波が発生し、さらに広帯域にわたって多波長光を一括発生させることができる。

【0059】このような先願の多波長一括発生光源を用いて波長多重光信号送信装置を構成する場合には、図13に示すように、多波長光を各波長にスペクトルスライスする分波器231を有する光変調部203を用いる。光変調部203では、分波器231で分波された各波長光を光変調器232-1~232- n で送信信号により変調し、合波器233で各変調信号光を波長多重して出力する。

【0060】図13の波長多重光信号送信装置は、単体の半導体レーザをチャネル数分だけ用意する波長多重光信号送信装置の構成に比べて、装置規模の縮小とともにチャネル当たりの光源コストの低減が可能である。

【0061】また、半導体レーザは、温度変化および注入電流変化により発振波長シフトが生じ、また経時変化に伴って発振波長が変化する性質を有することから、伝送仕様上の波長精度を維持するには波長安定化回路が必要になる。この波長安定化は、個々の半導体レーザに対して実施する必要があるため、波長多重数の増加および波長多重間隔の高密度化に比例して、半導体レーザおよび波長安定化回路が増加し、光波長多重送信器の回路規模が増大する。これに対して、図13のように光発生部210が単一の半導体レーザからなる構成を採用することで、回路規模を増大させずに済む。

【0062】〔第6の実施形態〕図15は、本発明の波長多重光信号送信装置の第6の実施形態を示す。図示したように、本実施形態の波長多重光信号送信装置は、第5の実施形態と同様に多波長一括発生光源201-1、201-2の二重化により多波長光の安定供給を実現させ、その多波長光を光スターカブラ242を介して複数(M個)の光変調部203-1~203-Mに分配する。これにより、複数(M個)の波長多重光信号送信装置を備えたことと実質的に等価になる。すなわち、複数

(M個)のWDM伝送システムの各波長多重光信号送信装置が、二重化された多波長一括発生光源201-1、201-2を共有することができ、より経済的なシステム構成が可能となる。なお、光変調部203-1~203-Mが多波長光変調回路を構成する。

【0063】〔第7の実施形態〕図16は、本発明の波長多重光信号送信装置の第7の実施形態を示す。図において、本実施形態の波長多重光信号送信装置は、複数(M個)の光変調部203-1~203-Mに対して、それより多い複数(N個)($N>M$)の多波長一括発生光源201-1~201-Nを備える。なお、光変調部203-1~203-Mが多波長光変調回路を構成する。M個の多波長一括発生光源201-1~201-Mと光変調部203-1~203-Mは、 $N\times M$ 光スイッチ243を介してそれぞれ1対1に接続される。(N-M)個の多波長一括発生光源201-(M+1)~201-Nは予備の光源である。多波長一括発生光源201-1~201-Nは、図13または図4に示す先願の多波長一括発生光源と同様の構成であり、光発生部210および多波長化変調部220から構成される。光変調部203-1~203-Mも図13に示した光変調部203と同様の構成である。これにより、複数(M個)の波長多重光信号送信装置を備えたことと実質的に等価になる。

【0064】 $N\times M$ 光スイッチ243は、例えば多波長一括発生光源201-1に故障が発生したときに、予備の多波長一括発生光源201-Nと光変調部203-1との接続に切り換える。 $N\times M$ 光スイッチ243は任意の接続が可能であり、例えば $N=M+2$ の場合には、任意の2つの多波長一括発生光源の故障に対して予備に切り換えることができ、多波長光の安定的な供給を実現することができる。

【0065】〔第8の実施形態〕図17は、本発明の波長多重光信号送信装置の第8の実施形態を示す。図において、本実施形態の波長多重光信号送信装置は、多波長一括発生光源201として1つの光発生部210と2つの多波長化変調部220-1、220-2を備え、光カブラ244を介して光発生部210の出力光を多波長化変調部220-1、220-2に分配する。多波長化変調部220-1、220-2から出力される多波長光は、光スイッチ245でその一方が選択されて光変調部203に入力する。なお、光変調部203が多波長光変調回路を構成する。光発生部210および多波長化変調部220-1、220-2は、図13に示す先願の多波長一括発生光源201における光発生部210および多波長化変調部220あるいは図4に示す光発生部10および多波長化変調部20と同様の構成である。光変調部203も図13に示すものと同様の構成である。

【0066】光スイッチ245は、選択している一方の多波長化変調部から出力される多波長光に異常が発生し

た場合に、自動または手動で他方の多波長化変調部の方へ切り換える。これにより、光変調部203に対して多波長光の安定的な供給が実現する。

【0067】〔第9の実施形態〕図18は、本発明の波長多重光信号送信装置の第9の実施形態を示す。図において、本実施形態の波長多重光信号送信装置は、第8の実施形態と同様に多波長化変調部220-1、220-2の二重化により多波長光の安定供給を実現させているのに加えて、その多波長光を光スターカブラ246を介して複数(M個)の光変調部203-1~203-Mに分配する。なお、光変調部203-1~203-Mが多波長光変調回路を構成する。これにより、複数(M個)の波長多重光信号送信装置を備えたことと実質的に等価になる。すなわち、複数(M個)のWDM伝送システムの各波長多重光信号送信装置が、二重化された多波長化変調部220-1、220-2を共有することができ、より経済的なシステム構成が可能となる。

【0068】〔第10の実施形態〕図19は、本発明の波長多重光信号送信装置の第10の実施形態を示す。図において、本実施形態の波長多重光信号送信装置は、複数(M個)の光変調部203-1~203-Mに対して、それより多い複数(N個)($N > M$)の多波長化変調部220-1~220-Nを備える。なお、光変調部203-1~203-Mが多波長光変調回路を構成する。多波長化変調部220-1~220-Nには、光スターカブラ247を介して光発生部210の出力光が分配される。M個の多波長化変調部220-1~220-Mと光変調部203-1~203-Mは、 $N \times M$ 光スイッチ248を介してそれぞれ1対1に接続される。(N-M)個の多波長化変調部220-(M+1)~220-Nは予備である。光発生部210および多波長化変調部220-1~220-Nは、図13に示す先願の多波長一括発生光源201の光発生部210および多波長化変調部220あるいは図4に示す光発生部10および多波長化変調部20と同様の構成である。光変調部203-1~203-Mも図13に示すものと同様の構成である。これにより、複数(M個)の波長多重光信号送信装置を備えたことと実質的に等価になる。

【0069】 $N \times M$ 光スイッチ248は、例えば多波長化変調部220-1に故障が発生したときに、予備の多波長化変調部220-Nと光変調部203-1との接続に切り換える。 $N \times M$ 光スイッチ248は任意の接続が可能であり、例えば $N = M + 2$ の場合には、任意の2つの多波長化変調部の故障に対して予備に切り換えることができ、多波長光の安定的な供給を実現することができる。

【0070】なお、ここでは光発生部210を1つとしているが、同様の構成を有する複数(m個)の光発生部210-1~210-mを備え、各光発生部が N/m 個(N/m は整数)の多波長化変調部に対して出力光を分

配し、全体でN個の多波長化変調部220-1~220-Nに光発生部210-1~210-mの出力光を分配するようにしてもよい(図19(b))。

【0071】また、上記の第5、第6、第8、第9の実施形態では二重化構成を例としたが、三重化以上の冗長構成をとってもよい。また、上記の第6、第8~第10の実施形態において、光スターカブラまたは光カブラによる分岐損失が大きくなる場合には、光増幅器を用いて光パワーを増幅する構成としてもよい。

【0072】図13に示した先願の波長多重光信号送信装置は、1つの多波長一括発生光源201から多波長光を一括発生させる構成であるために、その元となる1つの多波長一括発生光源201が故障すると、多波長光のすべてが停止することになる。例えば、多波長一括発生光源201の多波長化変調部220が故障すると、一括発生する各チャネル対応の多波長光が同時に停止し、それを用いて伝送される莫大な情報がすべて伝送できなくなる。

【0073】これに対して、上述した第5~第10の実施形態では多波長一括発生光源または多波長化変調部を複数備えた構成であるため、現用の多波長一括発生光源または多波長化変調部が故障することによる甚大な被害を防ぐことができる。また、多波長光を一括発生させる多波長一括発生光源の信頼性を向上させることができるので、多波長一括発生光源の低コスト化の利点を活かした低コストかつ高信頼の波長多重光信号送信装置を実現することができる。

【0074】次に、本発明の第11~第15の実施形態について順次説明するが、まず初めにその背景について説明する。波長多重光信号送信装置に用いられる光変調器としては、高速変調特性に優れたLN(ニオブ酸リチウム)変調器が用いられている。このLN変調器は、 LiNbO_3 基板上に光導波路でマッハツェンダ型干渉計を形成し、電気光学効果により光導波路の屈折率を変化させて出力光の強度を変調する構成である。その変調特性は、入力されるレーザ光の偏波面の角度によって異なる。すなわち、LN変調器には偏波依存性がある。

【0075】光変調器にLN変調器を用いた場合の波長多重光信号送信装置の構成例としては例えば図20に示すものが考えられる。本構成例は、光波長多重通信(WDM)用の波長多重光信号送信装置の光源(WDM用光源)として、多波長光を出力する多波長光源を用いるものである(特願2001-199791号)。

【0076】図20において、多波長光源311から出力される多波長光は、アレイ導波路回折格子フィルタ(AWG)などの光分波器312を用いて波長分離され、これにより、波長間隔の等しい複数の光搬送波が得られる。各波長の光搬送波は、それぞれ対応する光変調器313-1~313-nで変調され、各変調光が光合波器314で波長多重されて光伝送路に送信される。こ

ここで、光分波器312の入力側および光合波器314の出力側には、多波長光または波長多重変調光の各チャンネルのレベル差を均一するために、利得帯域内で利得を一定にした利得等化光ファイバ増幅器315、316が挿入され、それぞれ所定の光パワーまで増幅される。

【0077】このような多波長光源は、チャンネル数だけの単一モードレーザを用意するWDM用光源に比べて、レーザ光源の個数を削減することができるとともに、各チャンネルの波長設定も容易になる特徴がある。

【0078】ただ、上述したようにLN変調器には偏波依存性があり特定の偏波状態の光しか変調することができないため、LN変調器よりも前段に配置される全ての装置は偏波保持機能を備える必要がある。したがって、図20の構成においてその入力側に位置する利得等化光ファイバ増幅器315および光分波器312には、偏波保持型のものを用いる必要がある。

【0079】光分波器312としては、ガラス基板上にPLC導波路（あるいはシリコン基板上に有機導波路）で形成されたアレイ導波路回折格子フィルタ（AWG）が一般的に用いられる。このAWGは偏波面が通常保持されるので、入出力用のビッグテイルに偏波保持ファイバを取り付けるだけで対応できる。

【0080】一方、利得等化光ファイバ増幅器315を偏波保持型の構成とするには高度の技術が必要になって高価になり、波長多重光信号送信装置のコスト低下の妨げになる。

【0081】こうしたことを背景として、第11～第15の実施形態ではLN変調器を用いた波長多重光信号送信装置において、チャンネル間のレベル差を均一にしながらコスト低減を図るものである。

【0082】〔第11の実施形態〕図21は、本発明の第11の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図20に示す多波長光源311を用いた波長多重光信号送信装置において、光変調器313としてLN変調器を用いたときに、その入力側に位置する利得等化光ファイバ増幅器315を偏波保持型にする代わりに、それより安価な偏波保持型光ファイバ増幅器321を用い、光変調器の出力側でチャンネル間のレベル差を均一にする利得等化を行うところにある。なお、光分波器312は、本来偏波保持型であるので入出力用のビッグテイルに偏波保持ファイバを取り付けることにより、光変調器313の入力側を偏波保持型光ファイバ増幅器321を含めて偏波保持型構成にする。

【0083】図21において、多波長光源311から出力される多波長光は、偏波保持型光ファイバ増幅器321で増幅され、光分波器312で波長間隔の等しい複数の光搬送波に分波される。各波長の光搬送波は、それぞれ所定の偏波で対応する光変調器（LN変調器）313-1～313-nに入力され、変調される。各光変調器から出力される各波長の変調光は光合波器314で波長

多重され、偏波無依存光ファイバ増幅器322で所定の光パワーまで増幅され、偏波無依存利得等化器323で各波長の光レベルを均一にして光伝送路に送信される。

【0084】なお、光ファイバ増幅器は、エルビウムなどの希土類イオンを添加した光ファイバを増幅媒体とし、励起光を入力して希土類イオンを励起することにより増幅作用をもたせた光増幅器であり、一般的には入射光の偏波面が保持されない偏波無依存型である。この増幅媒体となる光ファイバとしてPANDAファイバなどの偏波保持光ファイバのコアに希土類イオンを添加したものをを用いることにより、入射光の偏波面が保持される偏波保持型光ファイバ増幅器321となる。

【0085】ただし、光ファイバ増幅器は図22に示すように、一般的に波長1.53 μ mと1.56 μ mの2つの波長で利得がピークとなる。このことは、偏波保持型光ファイバ増幅器321および偏波無依存光ファイバ増幅器322でも同様であり、利得帯域内で利得は一定にならない。そこで、偏波無依存利得等化器323を用いてチャンネル間のレベル差を均一にする。すなわち、偏波無依存利得等化器323は、偏波保持型光ファイバ増幅器321と偏波無依存光ファイバ増幅器322の利得特性の積を平坦化する透過特性（損失特性）を有し、例えば数種類の透過特性を有する光ファイバグレーティングを組み合わせて構成される。図22に示したように、偏波保持型光ファイバ増幅器321及び偏波無依存光ファイバ増幅器322の利得特性を偏波無依存利得等化器323の損失特性で利得等化することにより、利得等化光ファイバ増幅器315、316（図20参照）と同様の平坦化された透過特性が得られる。なお、偏波無依存光ファイバ増幅器322と偏波無依存利得等化器323の順番は任意である。

【0086】〔第12の実施形態〕図23は、本発明の第12の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図21に示す第11の実施形態の構成を前提にしつつ、光変調器313-1～313-nの出力を反射する光反射手段331（光変調器と光反射手段を合わせてLN変調手段という）を用い、光分波器312と光合波器314を1つの光合分波器332に集約するところにある。なお、偏波保持型光ファイバ増幅器321の出力を光合分波器332に接続し、光合分波器332の合波出力を偏波無依存光ファイバ増幅器322に供給するために、光サーキュレータ333あるいはそれに代わる同機能の光入出力手段が用いられる。

【0087】図23（a）において、多波長光源311から出力される多波長光は、偏波保持型光ファイバ増幅器321で増幅され、光サーキュレータ333を介して光合分波器332に入力され、波長間隔の等しい複数の光搬送波に分波される。各波長の光搬送波は、それぞれ対応する光変調器（LN変調器）313-1～313-nで変調され、各変調光が光反射手段331で折り返さ

れて光合分波器332で波長多重される。この波長多重光は、光サーキュレータ333を介して偏波無依存光ファイバ増幅器322で所定の光パワーまで増幅され、偏波無依存利得等化器323で各波長の光レベルを均一にして光伝送路に送信される。

【0088】なお、光反射手段331としては、例えば金属膜または誘電体多層膜をコーティングした鏡などを用いることができる。また、特定の波長を反射する手段として、回折格子やファイバブラッググレーティングなども用いることができる。

【0089】また、光変調器313と光反射手段331は、図23(a)に示すように光ファイバあるいは光導波路を介して光学的に接続されるか、図23(b)に示すように接触させる構造であってもよい。

【0090】〔第13の実施形態〕図24は、本発明の第13の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図23に示す第12の実施形態の構成を前提としつつ、偏波保持型光ファイバ増幅器321が偏波無依存光ファイバ増幅器322の機能を兼用すると共に、偏波保持型光ファイバ増幅器321を光サーキュレータ333と光合分波器332との間に配置したところにある。つまり、偏波保持型光ファイバ増幅器321は双方向増幅器である。これにより、さらにコスト低減が可能となる。

【0091】図24(a)において、多波長光源311から出力される多波長光は、光サーキュレータ333を介して偏波保持型光ファイバ増幅器321に入力され、増幅されて光合分波器332に入力され、波長間隔の等しい複数の光搬送波に分波される。各波長の光搬送波は、それぞれ対応する光変調器(LN変調器)313-1~313-nで変調され、各変調光が光反射手段331で折り返されて光合分波器332で波長多重される。この波長多重光は、偏波保持型光ファイバ増幅器321で所定の光パワーまで増幅され、光サーキュレータ333を介して偏波無依存利得等化器323に入力され、偏波無依存利得等化器323で各波長の光レベルを均一にして光伝送路に送信される。

【0092】なお、光変調器313と光反射手段331は、図24(a)に示したように光ファイバあるいは光導波路を介して光学的に接続されるか、図24(b)に示すように接触させる構造であってもよい。

【0093】ところで、第12の実施形態では、偏波無依存利得等化器323の特性として、偏波保持型光ファイバ増幅器321と偏波無依存光ファイバ増幅器322の2つの波長依存性を等化する特性が求められるが、本実施形態では1つの偏波保持型光ファイバ増幅器321の波長依存性を等化すればよいので、偏波無依存利得等化器323の波長特性の設定が容易になる利点がある。

【0094】〔第14の実施形態〕図25は、本発明の第14の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図23に示す第12の実施形態の構成のように光反射手段33

1を用いる代わりに、光変調器へ光搬送波を出力するための光合分波器332のポートO1~Onとは別のポートI1~Inに光変調器313-1~313-nの出力を折り返し、その合波出力を他のポートOmから取り出して偏波無依存光ファイバ増幅器322に入力して、光サーキュレータ333を不要としたところにある。このような光合分波器332はAWGで実現することができる。

【0095】図25において、多波長光源311から出力される多波長光は、偏波保持型光ファイバ増幅器321で増幅されて光合分波器332に入力され、波長間隔の等しい複数の光搬送波に分波される。各波長の光搬送波は、それぞれ対応する光変調器(LN変調器)313-1~313-nで変調され、各変調光が光合分波器332に折り返されて波長多重される。この波長多重光は、光合分波器332に多波長光が入力するポートImと異なるポートOmから出力され、偏波無依存光ファイバ増幅器322で所定の光パワーまで増幅され、偏波無依存利得等化器323で各波長の光レベルを均一にして光伝送路に送信される。

【0096】なお、本実施形態の構成は、図21に示す第11の実施形態の光分波器312と光合波器314を共有化した構成とみることもできる。

【0097】〔第15の実施形態〕第15の実施形態は、第11の実施形態、第12の実施形態、第14の実施形態のように多波長光源311を用いる構成に代えて、自然放出光(ASE)を光フィルタで周波数的に切り出したスペクトルスライス光を用いる。すなわち、図21、図23、図25に示す多波長光源311を取り除き、偏波保持型光ファイバ増幅器321の入力を光学的に終端し、発生するASEを利用する構成とする。図26(a)は、図21に示す第11の実施形態に対応する構成であり、図26(b)は、図23(a)に示す第12の実施形態に対応する構成である。同様に、図25に示す第14の実施形態にも対応させることができる。

【0098】例えば図26(a)において、偏波保持型光ファイバ増幅器321から出力されるASEは、光分波器312により波長の異なる狭帯域のスペクトルスライス光に分波される。各波長のスペクトルスライス光は、それぞれ対応する光変調器313-1~313-nで変調され、各変調光が光合波器314で波長多重され、偏波無依存光ファイバ増幅器322で所定の光パワーまで増幅され、偏波無依存利得等化器323で各波長の光レベルを均一にして光伝送路に送信される。

【0099】以上説明した第11~第15の実施形態では、LN変調器の入力側に安価な偏波保持型の光ファイバ増幅器を用い、LN変調器の出力側に偏波無依存の光ファイバ増幅器および偏波無依存利得等化器を備えることにより、製造が難しくかつ高価な偏波保持型の利得等化光ファイバ増幅器が不要となる。これにより、LN変

調器の偏波依存性に対応しながら、チャネル間のレベル差を均一にする構成を低コストで実現することができる。

【0100】さらに、光分波器と光合波器を共用したり、偏波保持型の光ファイバ増幅器と偏波無依存の光ファイバ増幅器を共用したりする構成とすることにより、さらに低コスト化を実現することができる。

【0101】また、偏波保持型の光ファイバ増幅器と偏波無依存の光ファイバ増幅器を共用する構成(図24)では、偏波無依存利得等化器は、1つの偏波保持型光ファイバ増幅器の波長依存性を等化すればよいので、その波長特性の設定が容易になる。

【0102】〔第16の実施形態〕上述した実施形態では、異なる種光源から出力される光サイドモードの波長が重なるのを避けるために、周波数軸上で隣り合う種光源の中間近辺の周波数を利用していない。本実施形態では、こうした周波数も利用して等間隔で抜けの無い連続した周波数とし、周波数利用効率をさらに向上させるものである。

【0103】図27は本実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示したブロック図であって、上述した各実施形態の波長多重光信号送信装置に相当する波長多重光信号送信部401-1、401-2と光結合器402とから構成される。光周波数 $f_1, f_2, \dots, f_n, \dots$ がいずれも等間隔であるとした場合、波長多重光信号送信部401-1、401-2の一方は、光周波数 $f_1 \sim f_n, f_{2n+1} \sim f_{3n}, f_{4n+1} \sim f_{5n}, \dots$ を出力し、他方は光周波数 $f_{n+1} \sim f_{2n}, f_{3n+1} \sim f_{4n}, f_{5n+1} \sim f_{6n}, \dots$ を出力する。光結合器402は波長多重光信号送信部401-1、401-2の出力を結合して伝送路に送信する。これにより、図27に示したように光結合器402からは等しい周波数間隔で様な周波数の光が出力されるようになる。なお、波長多重光信号送信部401の個数は2台に限定されず3台以上であっても良い。

【0104】〔第17の実施形態〕上述した実施形態は、第1～第4の実施形態(以下、第1グループ)と第5～第10の実施形態(以下、第2グループ)と第11～第15の実施形態(以下、第3グループ)と第16の実施形態(以下、第4グループ)に大別される。これら40 グループのうちの2つ、3つあるいは4つのグループを任意に組み合わせることが可能なことは当業者には明らかであるが、その組み合わせの一例について以下に説明する。

【0105】図28は第1グループ～第3グループを組み合わせた場合の波長多重光信号装置の構成を示したブロック図である。また、図29は波長に対する光損失(利得)偏差と、波長多重光信号送信装置への入力時および同装置からの出力時における光パワーレベル偏差を示している。図28に示す波長多重光信号送信装置

は、光源部510、多波長光変調回路520-1及び520-2、 2×1 の光スイッチ530から構成される。

【0106】なお、多波長光変調回路520-1及び520-2は同一の構成であるため、多波長光変調回路520-1についてのみ詳細な構成を示してある。多波長光変調回路の一方が現用変調回路(ここでは多波長光変調回路520-1)であって他方が予備変調回路(ここでは多波長光変調回路520-2)である。また、予備変調回路は必須の構成要素ではなく、予備変調回路を設けなくとも良い。その場合には光スイッチ530も不要となる。

【0107】光源部510は多波長一括発生光源511-1及び511-2ならびに光スイッチ512を備えている。多波長一括発生光源511-1及び511-2は上述した各実施形態で説明した多波長一括発生光源の何れかをを用いれば良い。例えば図4に示した構成であれば、複数の種光源の強度または位相もしくはその両方を変調する多波長一括発生手法により多波長光を同時に発生させる。光スイッチ512は予備変調回路を設けるかどうかで構成が異なる。予備変調回路を設けない場合(第6、7、9、10実施形態以外の場合)には光スイッチ512を 2×1 光スイッチで構成する。一方、予備変調回路を設ける場合(第6、7、9、10実施形態の場合)には光スイッチ512を 2×2 光スイッチで構成し、その2系統の出力をそれぞれ多波長光変調回路520-1、520-2に接続する。

【0108】各多波長光変調回路520は、図1(第1実施形態)と同様に、群分波器522、チャネル分波器523-1～523-m、光変調器524-11～524-mn、チャネル合波器525-1～525-m、群合波器526を備えている。加えて、各多波長光変調回路520は、図21(第11実施形態)と同様に、群分波器522の前段に配置された利得特性が平坦でない偏波保持型光ファイバ増幅器521と、群合波器526の後段に配置された偏波無依存利得等化器527とを備えている。図29に示したように、偏波無依存利得等化器527は、波長に対する偏波保持型光ファイバ増幅器521の利得偏差を補償するように設計される。なお、ここでは図21に示した偏波無依存光ファイバ増幅器322を省いているが、偏波無依存光ファイバ増幅器322を偏波無依存利得等化器527の前段または後段に設けても良い。

【0109】群分波器522の隣り合う出力ポートの透過中心周波数差は光源部510の隣り合う波長の周波数差に対応している。また図29に示したように、群分波器522の隣り合うポートの透過中心周波数差は多波長一括発生光源511の種となる複数の光源(図4中の11-1～11-nに相当)の周波数間隔と同一に設計される。同様に、群合波器526の隣り合うポートの透過中心周波数差は多波長一括発生光源511の種となる複

数の光源の周波数間隔と同一に設計される。このほか、チャンネル分波器523およびチャンネル合波器525のFSRは多波長一括発生光源511の種光源の波長間隔と同一に設計される。光スイッチ530は、現用変調回路に故障が発生したときに自動または手動で現用変調回路から予備変調回路に切り替えるためのものである。

【0110】なお、図28の波長多重光信号送信装置に対して第16の実施形態（第4のグループ）をさらに組み合わせる場合には、例えば、図27中の波長多重光送信部401-1、401-2のそれぞれが、図28全体に相当するように構成する。また、図28では群分波及びチャンネル合分波に関する構成として図1（第1実施形態）のものをを用いたが、例えば第2～第4実施形態のものをを用いても良い。また、偏波保持型光ファイバ増幅器に関する構成として第11実施形態のものをを用いたが、例えば第12～第15実施形態のものをを用いても良い。また、光源部510として複数の多波長一括発生光源を光スイッチで選択する構成例について説明したが、上述した各実施形態の構成を用いても良い。また、図28では2つの多波長光変調回路を現用変調回路および予備変調回路としていたために光スイッチ530を設けたが、光スイッチ530を無くして第6、7、9、10実施形態のように複数のWDMシステムを構成するものであっても良い。

【0111】

【発明の効果】本発明によれば、多波長一括発生光源を用いて多波長光を発生させ、その多波長光を分波し、その各波長チャンネルの光を複数の光変調器でそれぞれ変調し、その変調信号光を波長多重して出力する多波長光変調回路および波長多重光信号送信装置において、群分波器およびチャンネル合分波器を用いることにより、AWGのFSR以上の帯域をもつ多波長光について個別の波長チャンネルに分波することができる。また、多波長一括発生光源を構成する種光源（半導体レーザ等）の周波数間隔とチャンネル合分波器を構成するAWGのFSRを一致させることにより、透過特性がFSR毎に周期的なAWGの性質を利用して同一特性のAWGを異なる波長群に適用することができる。したがって、チャンネル合分波器を構成するAWGを多品種少量生産する必要がないという利点がある。

【0112】また、請求項9～11、22～24記載の発明によれば、群分波器の各出力ポートの透過特性が多波長光の光スペクトル形状と逆特性となることにより、あるいは各チャンネル単位にパワーレベルを調節する手段を用いることにより、多波長一括発生光源において生じ得る、各波長チャンネル間のパワーレベル偏差を抑制することができる。

【0113】また、請求項12、25記載の発明によれば、偏波保持型の利得等化光ファイバ増幅器を用いず、光変調器の入力側に安価な偏波保持型の光ファイバ増幅

器を用い、光変調器の出力側に偏波無依存の光ファイバ増幅器および利得等化器を備えることにより、高価な偏波保持型の利得等化光ファイバ増幅器が不要となる。これにより、光変調器の偏波依存性に対応しながら、チャンネル間のレベル差を均一にする構成を低コストで実現することができる。

【0114】また、請求項8、21記載の発明のように群分波器と群合波器あるいはチャンネル分波器とチャンネル合波器を共用したり、請求項12、25記載の発明において偏波保持型の光ファイバ増幅器と偏波無依存の光ファイバ増幅器を共用したりする構成とすることにより、さらに低コスト化を実現することができる。また、偏波保持型の光ファイバ増幅器と偏波無依存の光ファイバ増幅器を共用することで、偏波無依存利得等化器は、1つの偏波保持型光ファイバ増幅器の波長依存性を等化すればよいので、その波長特性の設定が容易になる。

【0115】また、請求項27～31記載の発明によれば、多波長一括発生光源又は多波長化変調部の冗長構成によって、多波長光を一括発生させる多波長一括発生光源の信頼性を向上させることができるので、多波長一括発生光源の低コスト化の利点を活かした低コストかつ高信頼の波長多重光信号送信装置を実現することができる。

【0116】そして、多波長一括発生光源の信頼性が向上したことにより、複数の多波長化変調回路を備え、多波長一括発生光源から出力される多波長光を各多波長化変調回路に分配する構成とし、多波長一括発生光源を複数のWDM伝送システムで共有することを可能とする。

【0117】しかも、請求項31記載の発明では、複数のM個の光変調部に対してそれより多い複数N個（ $N > M$ ）の多波長化変調部を備え、 $N \times M$ 光スイッチを用いて多波長化変調部と光変調部をそれぞれ1対1に接続するとともに、いずれかの多波長化変調部に故障が発生したときに、予備の多波長化変調部への切り換えが可能になっている。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図2】 群分波器31およびチャンネル分波器32の透過特性を示す図である。

【図3】 多波長光の他の光スペクトル例を示す図である。

【図4】 多波長一括発生光源1の第1の構成例を示すブロック図である。

【図5】 多波長一括発生光源1の第1の構成例の出力光スペクトルを示す図である。

【図6】 多波長一括発生光源1の第1の構成例に対応する分波器の透過特性を示す図である。

【図7】 多波長一括発生光源1の第2の構成例を示す図である。

【図8】 多波長一括発生光源1の第2の構成例に対応する分波器の透過特性を示す図である。

【図9】 本発明の第2の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図10】 本発明の第3の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図11】 本発明の第4の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図12】 本発明の第5の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図13】 多波長一括発生光源を用いた波長多重光信号送信装置の構成例を示すブロック図である。

【図14】 多波長一括発生光源における多波長光発生原理を示す図である。

【図15】 本発明の第6の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図16】 本発明の第7の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図17】 本発明の第8の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図18】 本発明の第9の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図19】 本発明の第10の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図20】 多波長光源を用いた従来の波長多重光信号送信装置の構成例を示すブロック図である。

【図21】 本発明の第11の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図22】 第11の実施形態における利得等化の動作説明の図である。

【図23】 本発明の第12の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図24】 本発明の第13の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図25】 本発明の第14の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図26】 本発明の第15の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図27】 本発明の第16の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図28】 本発明の第17の実施形態による波長多重光信号送信装置の構成を示すブロック図である。

【図29】 本発明の第17の実施形態における光損失(利得)偏差と波長多重光信号送信装置への入力時および同装置からの出力時における光パワー偏差とを示した図である。

【図30】 従来の波長多重光信号送信装置の構成例を示すブロック図である。

【図31】 従来回路における多波長光の光スペクトルおよび分波器の透過特性を示す図である。

【図32】 従来回路における多波長光の光スペクトルを示す図である。

【符号の説明】

1 多波長一括発生光源

2 光サーキュレータ

3 群合分波器

4-1, 4-m チャンネル合分波器

6 光反射手段

10 光発生部

10 11-1, 11-2, 11-n 半導体レーザ(LD)

12 合波器

20 多波長化変調部

21 強度変調器

22 位相変調器

23 周期信号発生器

24, 25 電圧調整部

31 群分波器

32-1, 32-m チャンネル分波器

33-11, 33-1n, 33-m1, 33-mn 光変調器

34-1, 34-m チャンネル合波器

35 群合波器

36-11, 36-1n, 36-m1, 36-mn, 3

7-11, 37-1n, 37-m1, 37-mn 半導体光増幅器(SOA)

41-1, 41-2, 41-n 繰り返しパルス光源

42 合波器

201, 201-1, 201-2, 201-M, 201

-N 多波長一括発生光源

30 203, 203-1, 203-M 光変調部

210 光発生部

211 半導体レーザ(LD)

220, 220-1, 220-2, 220-M, 220

-N, 220-N/m, 220-{(m-1)/m}

N} 多波長化変調部

221 強度変調器

222 位相変調器

223 周期信号発生器

224, 225 電圧調整部

40 231 分波器

232-1~232-3, 232-n 光変調器

233 合波器

241, 245 光スイッチ

242, 246, 247-1, 247-M 光スターカブラ

243, 248 N×M光スイッチ

244 光カブラ

311 多波長光源

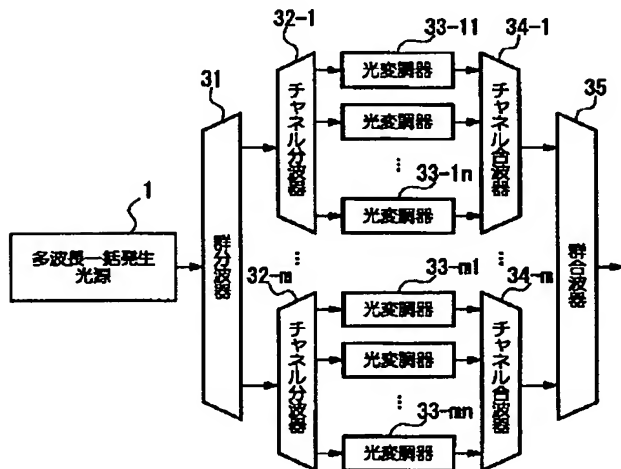
312 光分波器

50 313-1, 313-2, 313-n 光変調器(LN

変調器)

- 314 光合波器
- 315, 316 利得等化光ファイバ増幅器
- 321 偏波保持型光ファイバ増幅器
- 322 偏波無依存光ファイバ増幅器
- 323 偏波無依存利得等化器
- 331 光反射手段
- 332 光合分波器
- 333 光サーキュレータ
- 401-1, 401-2 波長多重光信号送信部
- 402 光結合器
- 510 光源部

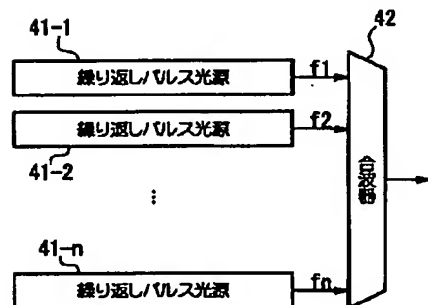
【図1】



【図3】

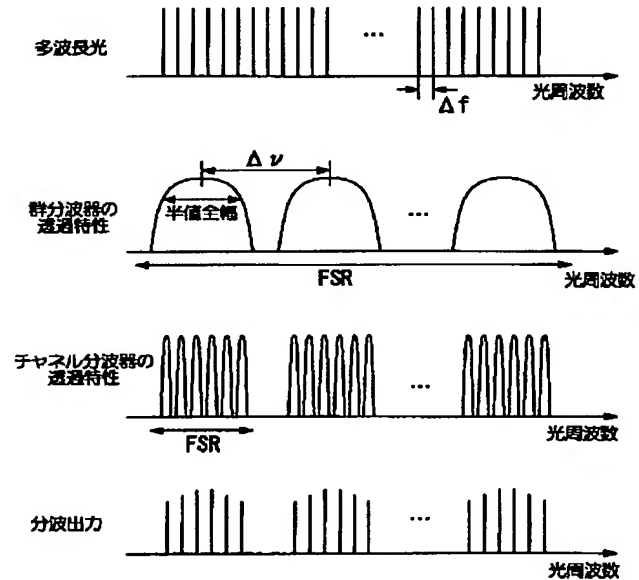


【図7】

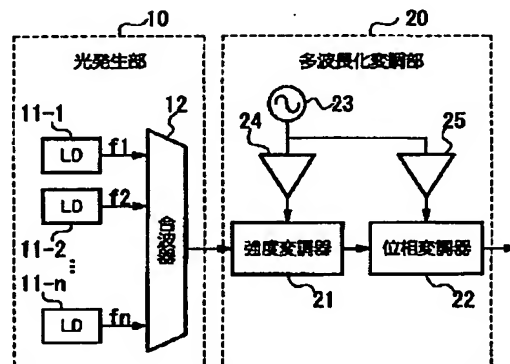


- * 511-1, 511-2 多波長一括発生光源
- 512 光スイッチ
- 520-1, 520-2 多波長光変調回路
- 521 偏波保持型光ファイバ増幅器
- 522 群分波器
- 523-1, 523-m チャンネル分波器
- 524-11, 524-1n, 524-m1, 524-mn 光変調器
- 525-1, 525-m チャンネル合波器
- 10 526 群合波器
- 527 偏波無依存利得等化器
- * 530 光スイッチ (光結合器)

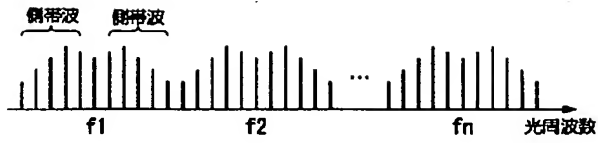
【図2】



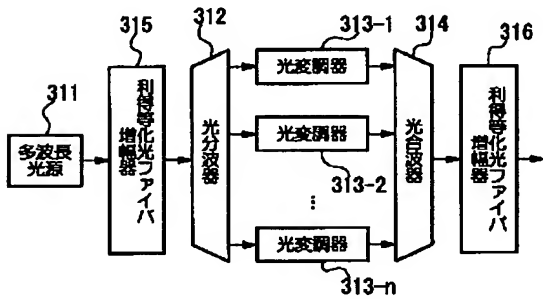
【図4】



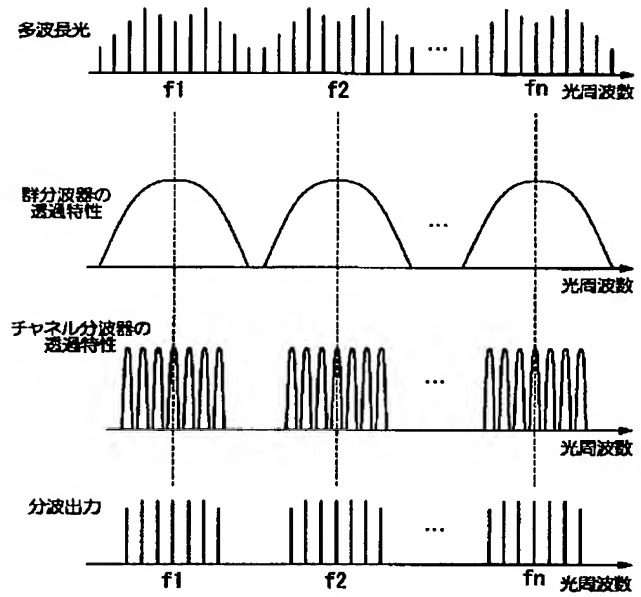
【図5】



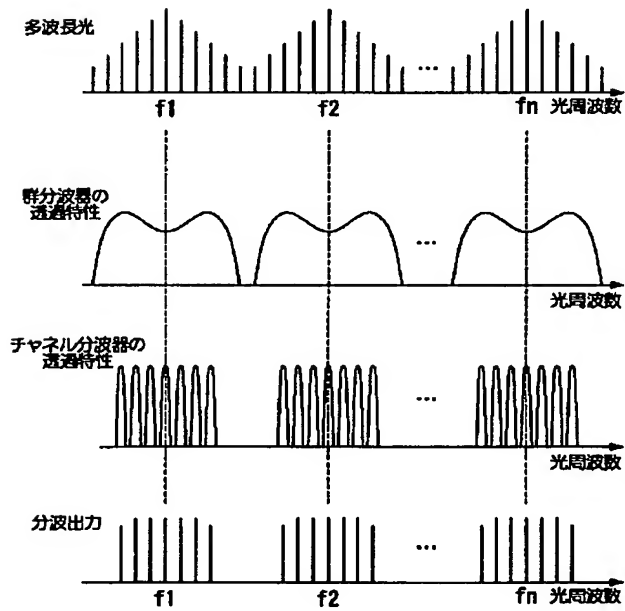
【図20】



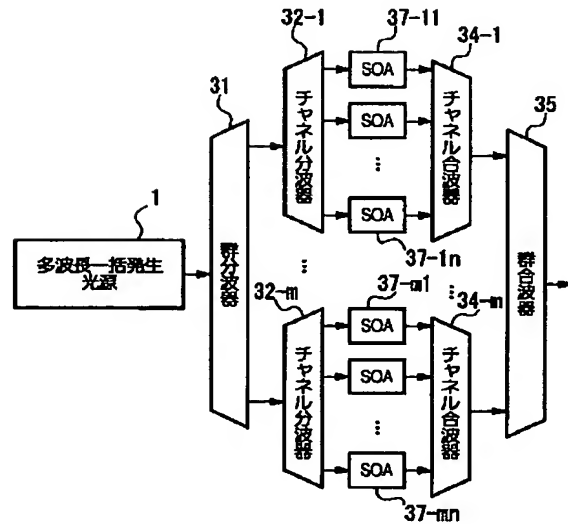
【図6】



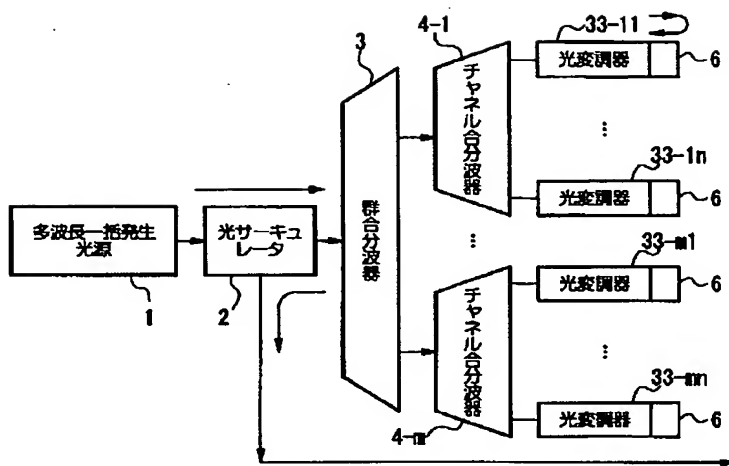
【図8】



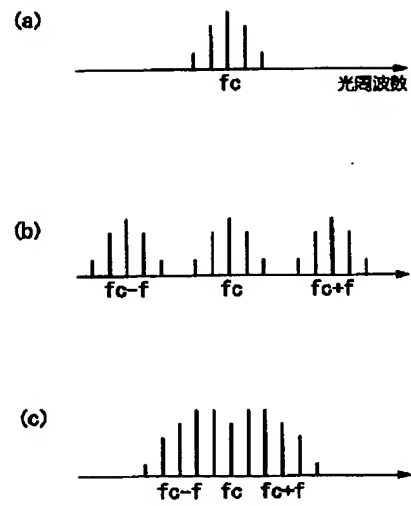
【図11】



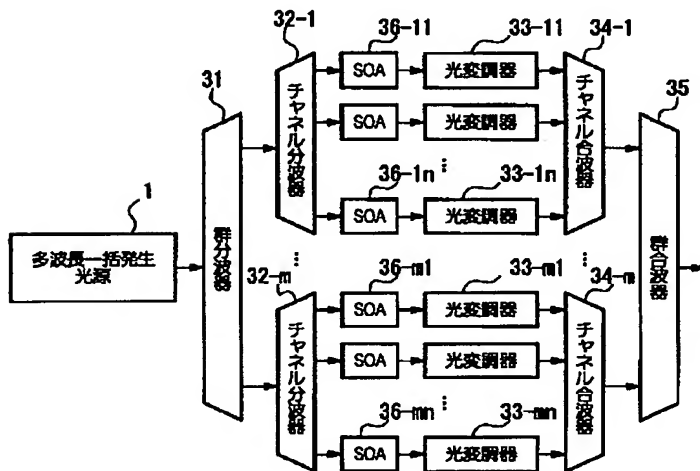
【図9】



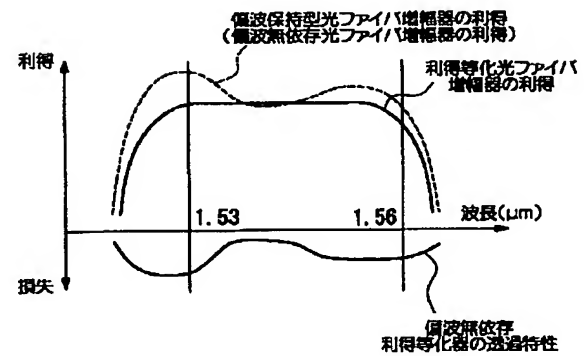
【図14】



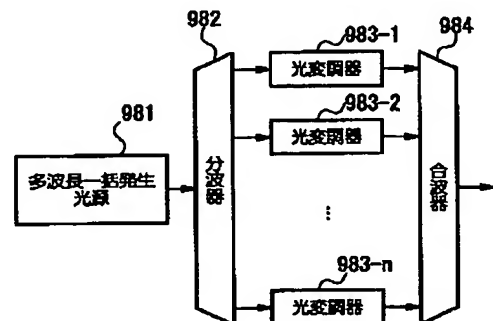
【図10】



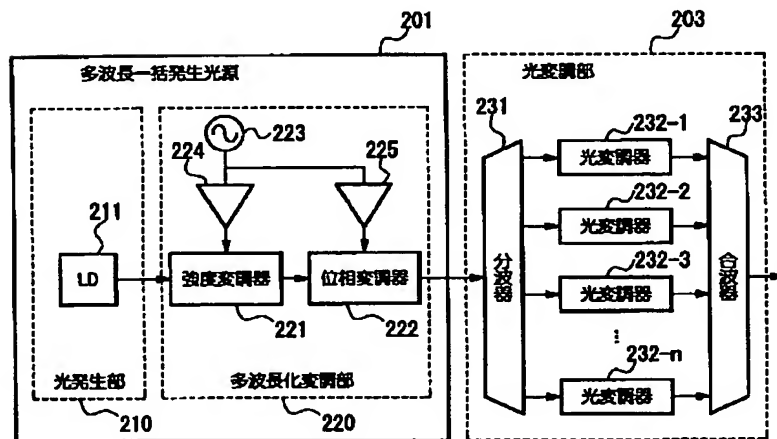
【図22】



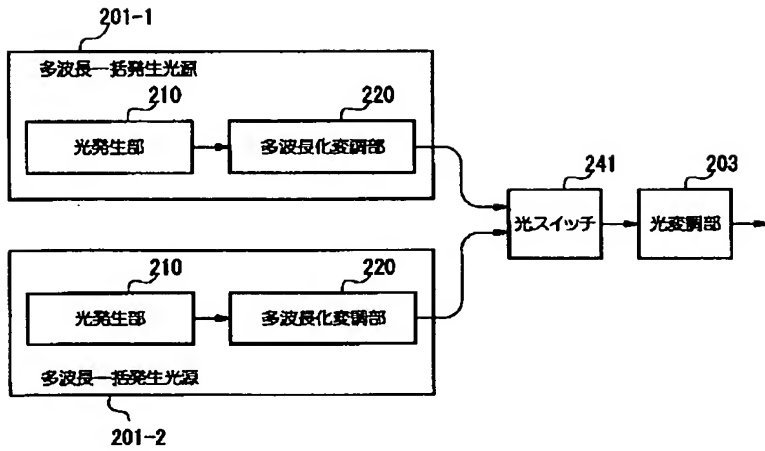
【図30】



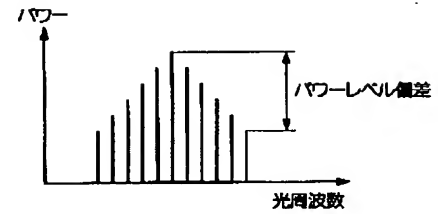
【図13】



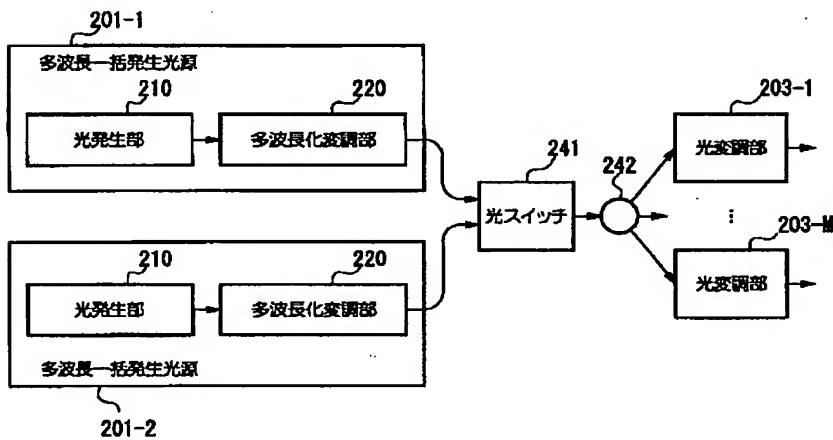
【図12】



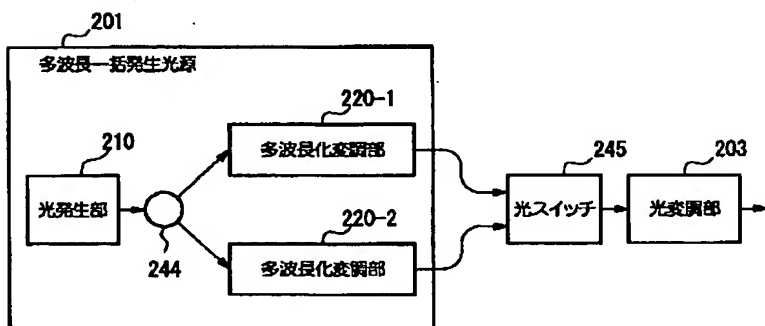
【図32】



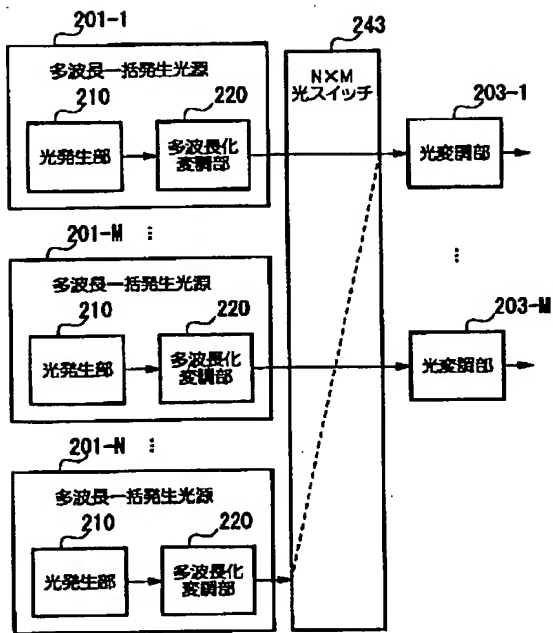
【図15】



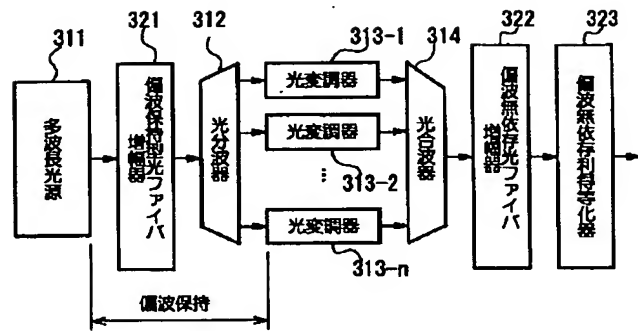
【図17】



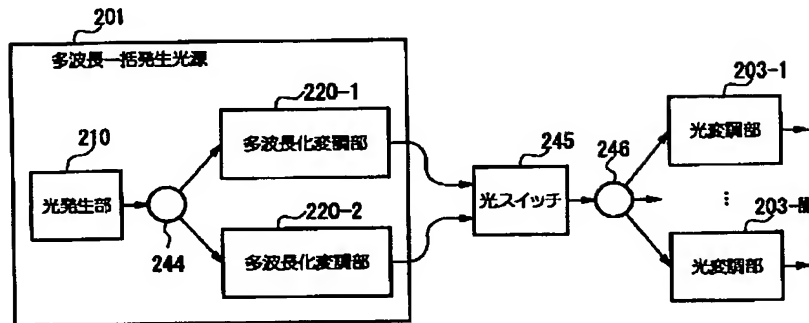
【図16】



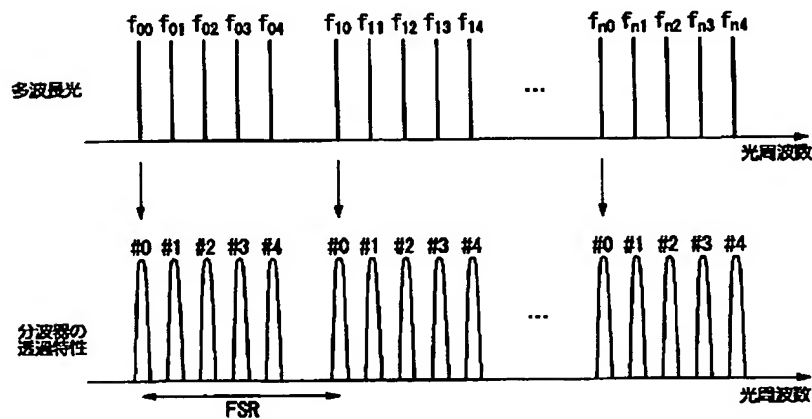
【図21】



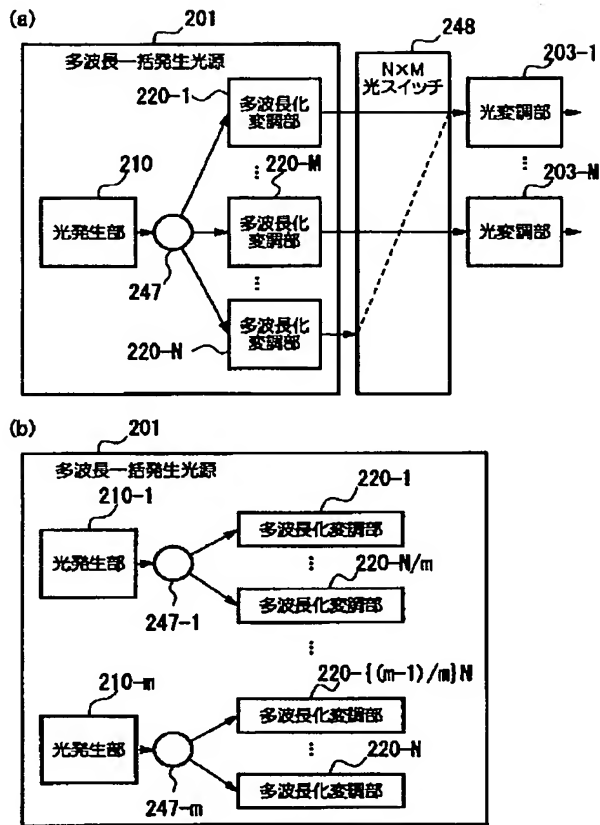
【図18】



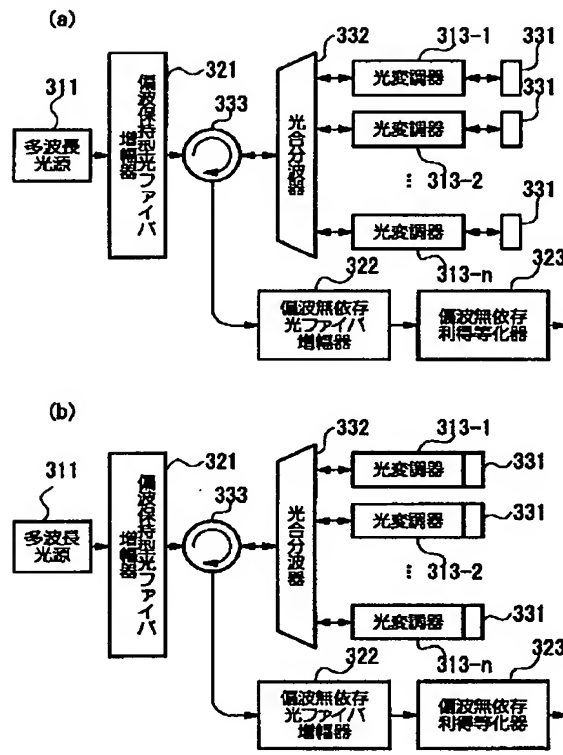
【図31】



【図19】

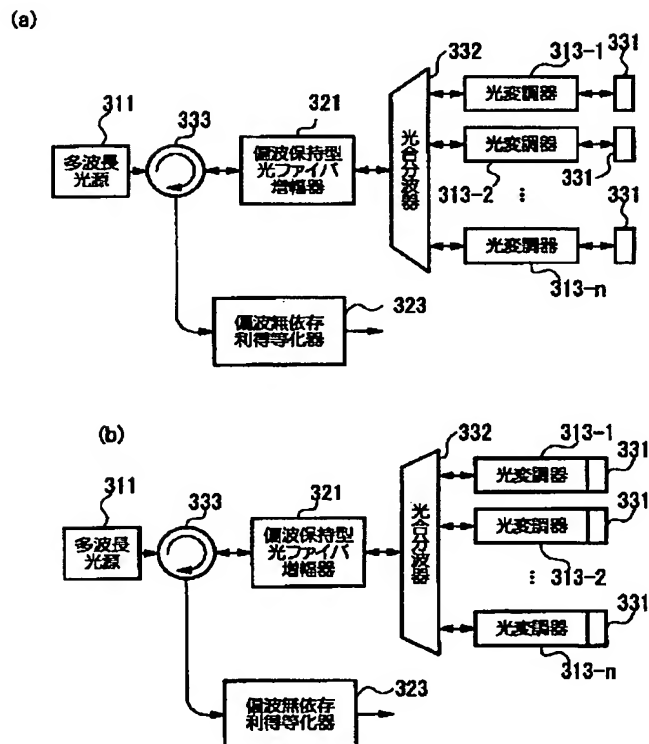
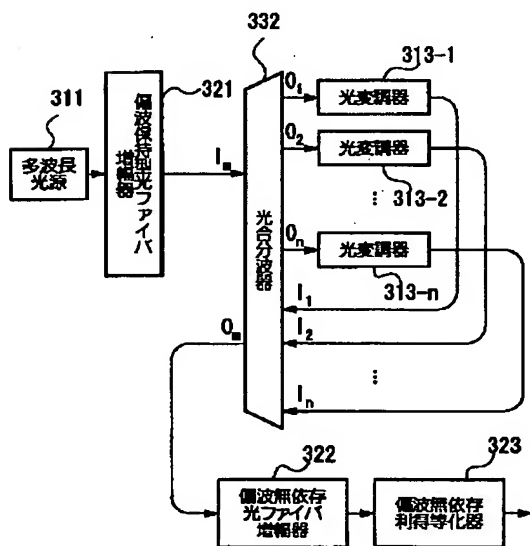


【図23】

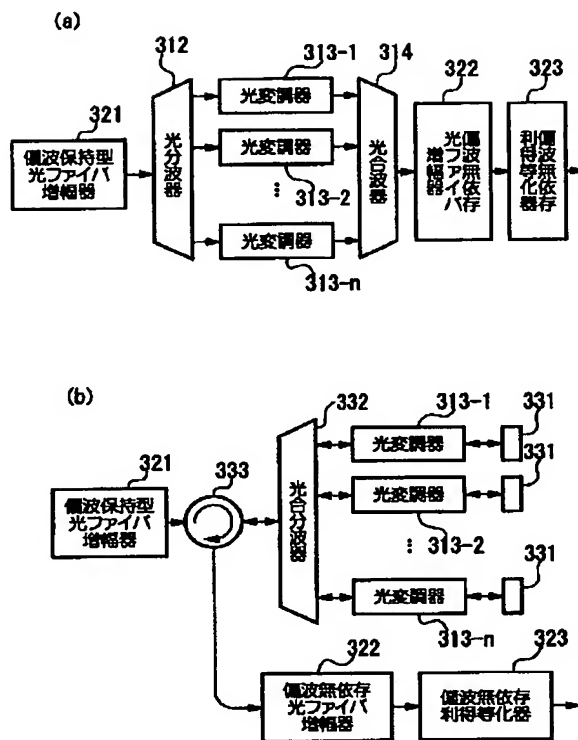


【図24】

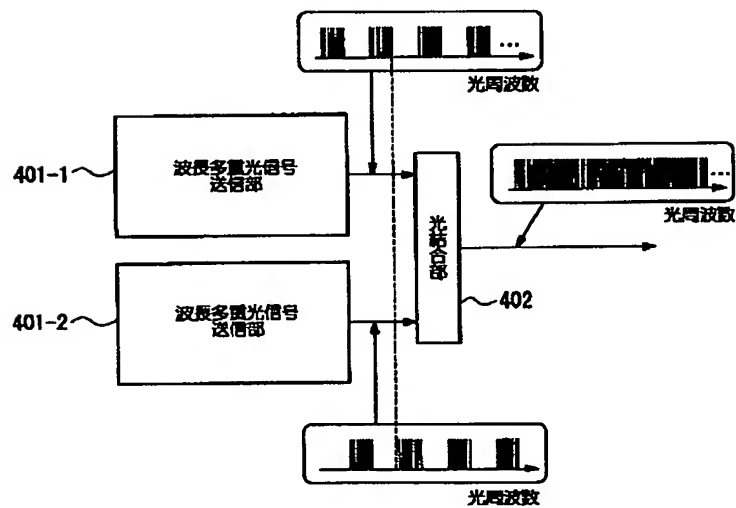
【図25】



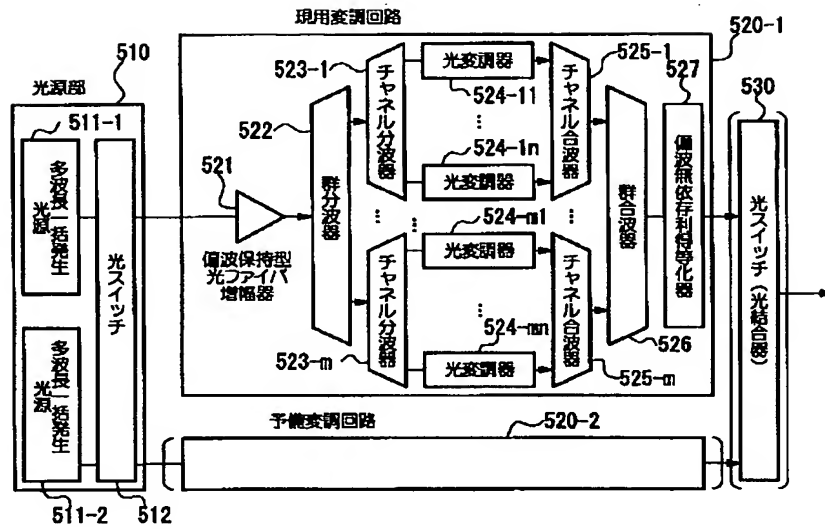
【図26】



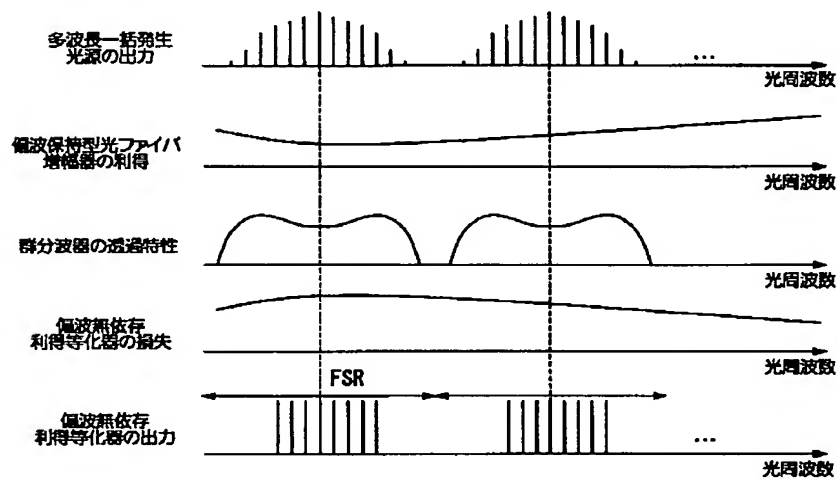
【図27】



【図28】



【図29】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード (参考)

G 0 2 F 2/02

H 0 1 S 3/10

Z

H 0 1 S 3/10

H 0 4 B 9/00

L

H 0 4 B 10/06

Y

10/14

10/142

10/152

10/26

10/28

(72)発明者 高知尾 昇
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 秋本 浩司
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 手島 光啓
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 藤原 正満
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 鈴木 裕生
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 河合 伸悟
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 岩月 勝美
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2H079 CA05 CA09 CA24 GA04 HA07
2K002 AA02 AB05 AB12 AB27 BA06
HA05
5F072 AB09 AB13 AK06 JJ05 JJ08
JJ09 YY17
5K102 AA11 AA15 AD02 AH26 AH27
MA01 MB04 MB06 MB07 MB10
MB11 MC07 MC12 PA02 PA12
PA16 PB02 PB15 PC02 PC03
PC05 PD13 PD15 PD17 PH03
PH13 PH15 PH41 PH47 PH48
PH49